

JAERI - M  
87-091

核融合次期装置設計  
(昭和61年度設計報告書)  
—プラントシステム設計—

1987年8月

斎藤 龍生・柏原晋一郎・伊藤 新一<sup>\*1</sup>・中山 尚英<sup>\*1</sup>  
安達 潤一<sup>\*2</sup>・鈴木 達志<sup>\*3</sup>・今村 豊<sup>\*4</sup>・中沢 一郎<sup>\*5</sup>  
本多 力<sup>\*6</sup>・中原 克彦<sup>\*7</sup>・大村 博志<sup>\*6</sup>・黒田 秀夫<sup>\*8</sup>

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 いばらき印刷(株)

核融合次期装置設計  
(昭和 61 年度設計報告書)  
—プラントシステム設計—

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部  
齋藤龍生・柏原晋一郎・伊藤新一\*<sup>1</sup>・中山尚英\*<sup>1</sup>  
安達潤一\*<sup>2</sup>・鈴木達志\*<sup>3</sup>・今村 豊\*<sup>4</sup>・中沢一郎\*<sup>5</sup>  
本多 力\*<sup>6</sup>・中原克彦\*<sup>7</sup>・大村博志\*<sup>6</sup>・黒田秀夫\*<sup>8</sup>

(1987 年 6 月 5 日 受理)

本報告書は、次期大型装置（'86 FER）のプラントシステムの設計検討について記したものである。'86 FER の設計検討は、昭和 60 年度にひきつづき実施されたが、特に昭和 61 年度は、プラズマスケールリング則の見直しに伴う設計変更と設計の合理化に主眼を置いて検討が行われた。

本報告書では、上記昭和 61 年度設計作業の一環として実施された各種計画、設計のうち、システム構成、サイト・炉本体建家、分解修理システム、トリチウム循環系、換気空調・雰囲気トリチウム浄化系、冷却・ベーキングシステム、廃棄物処理貯蔵システム、制御システム、電気システム、サイト工場の計画・設計検討について述べる。尚、本報告書中のプラントシステムは特記しない限り、原則として 61 年度に検討された 6 ケースの候補案の 1 つである '86 FER（ACS 炉）に対応して設計されている。

---

那珂研究所：〒311-02 茨城県那珂郡那珂町大字向山 801-1

- \* 1 (株) 日立製作所
- \* 2 川崎重工業(株), 外来研究員
- \* 3 川崎重工業(株)
- \* 4 三菱重工業(株)
- \* 5 三菱電機(株)
- \* 6 (株) 東芝
- \* 7 (株) 東芝, 外来研究員
- \* 8 (株) 間組, 外来研究員

Conceptual Design Study  
of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER)

- Plant System Design -

Ryusei SAITO, Shin-ichiro KASHIHARA, Shin-ichi ITOH\*<sup>1</sup>,  
Takahide NAKAYAMA\*<sup>1</sup>, Jun-ichi ADACHI\*<sup>2</sup>, Tatsushi SUZUKI\*<sup>3</sup>,  
Yutaka IMAMURA\*<sup>4</sup>, Ichirou NAKAZAWA\*<sup>5</sup>, Tsutomu HONDA\*<sup>6</sup>,  
Katsuhiko NAKAHARA\*<sup>7</sup>, Hiroshi OHMURA\*<sup>6</sup> and Hideo KURODA\*<sup>8</sup>

Department of Large Tokamak Development  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 5, 1987)

This report describes the results of conceptual design study on plant systems for the Fusion Experimental Reactor (FY86 FER).

Design studies for FER plant systems have been continued from FY85, especially for design modifications made in accordance with revisions of plasma scaling parameters and system improvements.

This report describes 1) system construction, 2) site & reactor building plan, 3) repair & maintenance system, 4) tritium circulation system, 5) heating, ventilation & air conditioning system, 6) tritium clean-up system, 7) cooling & baking system, 8) waste treatment & storage system, 9) control system, 10) electric power system, 11) site factory plan, all of which are a part of FY86 design work.

---

\*1 Hitachi, Ltd.

\*2 On leave from Kawasaki Heavy Industry, Ltd.

\*3 Kawasaki Heavy Industry, Ltd.

\*4 Mitsubishi Heavy Industry, Ltd.

\*5 Mitsubishi Electric Corporation

\*6 Toshiba Corporation

\*7 On leave from Toshiba Corporation

\*8 On leave from Hazama-Gumi, Ltd.

The plant systems described in this report generally have been based on the FY86 FER (ACS Reactor) which is an one of the six candidates for FER.

Keywords: FER, Plant System Design, System Construction, Site and Reactor Building Plan, Repaire and Maintenance System, Tritium Circulation System, Heating · Ventilation and Air Conditioning System, Tritium Clean-up System, Cooling and Baking System, Waste Treatment and Storage System, Control System, Electric Power System, Site Factory Plan.

## 目 次

1. 緒 言	1
2. システム構成	10
2.1 FER 構成ブロックダイヤグラム	10
2.2 FER 構成レベル	15
3. サイト・炉本体建家計画	40
3.1 サイト計画	40
3.1.1 計画方針	40
3.1.2 プラント建家配置計画	40
3.2 炉本体建家計画	45
3.2.1 検討条件	45
3.2.2 基本検討	60
3.2.3 炉本体建家配置計画	65
3.2.4 今後の検討課題	67
4. 分解修理システムの設計検討	80
4.1 概 要	80
4.2 基本構想	80
4.2.1 設計条件	80
4.2.2 基本計画	85
4.3 概念設計	91
4.3.1 除 染	91
4.3.2 検 査	96
4.3.3 分解・修理・組立	99
4.3.4 一時保管	107
4.3.5 解体・試験	112
4.3.6 移 送	121
4.3.7 分解・修理建家	129
4.4 まとめ	134
付 録	135
5. トリチウム循環処理系の設計検討	139
5.1 真空排気系	150
5.1.1 はじめに	150
5.1.2 設計条件	150
5.1.3 複合クライオポンプを主ポンプとした場合	150
5.1.4 ターボ分子ポンプを主ポンプとした場合	151

5.1.5	まとめ	151
5.2	燃料ガス循環系の設計検討	159
5.2.1	燃料ガス貯蔵系の基本構成の検討	159
5.2.2	Zr Ni 合金ベッドの基本構造と運転モード	161
5.2.3	Zr Ni 合金ベッド燃料ガス貯蔵器仕様	162
5.2.4	安全を確保するための方策の検討	162
6.	換気空調系・雰囲気トリチウム浄化系の設計検討	171
6.1	設計方針	171
6.2	設計条件	172
6.3	ゾーニング概念と各室の仕様	172
6.4	系統構成	173
6.5	各機器の仕様と外形	174
6.6	機器配置図	176
6.7	概略ダクト単線図	176
6.8	所要ユーティリティー	176
6.9	系統運転	177
6.10	必要外気量・雰囲気トリチウム浄化系処理風量算出モデルと設定	177
6.11	被換気空間における放射性廃棄物の発生量	179
7.	冷却・ベーキングシステムの設計検討	230
7.1	概要	230
7.2	系統設計条件	230
7.2.1	炉型別1次冷却所要熱量	230
7.2.2	ACS 炉系統条件	230
7.3	系統構成	234
7.3.1	基本方針	234
7.3.2	全体フロー	234
7.3.3	炉本体セクター別フロー	236
7.4	主要機器設計	241
7.5	冷却系のパルス応答解析	255
7.6	冷却系の合理化指針	259
7.7	ベーキングシステム	264
7.7.1	ベーキングの目的	264
7.7.2	循環水昇温範囲	264
7.7.3	加熱容量	264
7.7.4	所要熱量	266
7.7.5	加熱方式比較	267
8.	廃棄物処理貯蔵システムの設計検討	271
8.1	概要	271
8.2	液体廃棄物処理設備	271

8.2.1	概要	271
8.2.2	設計上の基本方針	271
8.2.3	系統機能及び構成	272
8.2.4	系統仕様	272
8.2.5	機器設計	273
8.3	固体廃棄物処理設備	281
8.3.1	概要	281
8.3.2	設計上の基本方針	281
8.3.3	系統機能及び構成	281
8.3.4	系統仕様	282
8.3.5	機器設計	282
8.4	廃棄物貯蔵設備	286
8.4.1	概要	286
8.4.2	設計条件	286
8.4.3	設備設計	286
9.	制御システムの設計検討	292
9.1	設計検討の目的と範囲	292
9.2	設計方針	292
9.3	運転方式	293
9.4	システム構成の考え方	295
9.5	プラズマ制御方式	297
9.5.1	プラズマ位置形状制御	297
9.5.2	温度・密度・駆動電流制御	300
9.5.3	燃焼制御	304
9.5.4	ディスラプション制御	305
9.6	制御システムの機能と構成	307
9.7	まとめ	309
10.	電気システムの設計検討	335
10.1	システムの条件	335
10.2	システムの概要	335
10.3	具体的な手法	335
10.4	基本設計	335
10.5	問題点と解決策	337
11.	サイト工場計画	345
11.1	対象となる大型コンポーネントの仕様	345
11.2	サイト工場の形態	350
12.	結 言	354
	謝 辞	354



参考文献	355
付録- 1 ( ' 86 FER プラント新設計/付加設計項目)	358
付録- 2 (Constraints/Drivers List)	362

## Contents

1. Introduction .....	1
2. System Construction .....	10
2.1 Block diagram of FER plant systems .....	10
2.2 Work break structure for FER .....	15
3. Site and Reactor building plan .....	40
3.1 Site plan .....	40
3.1.1 Design guideline .....	40
3.1.2 Plant building layout .....	40
3.2 Reactor building plan .....	45
3.2.1 Design conditions .....	45
3.2.2 Design study .....	60
3.2.3 Reactor building layout .....	65
3.2.4 Future works .....	67
4. Repaire and maintenance system .....	80
4.1 Introduction .....	80
4.2 Basic concept .....	80
4.2.1 Design conditions .....	80
4.2.2 Basic plan .....	85
4.3 Conceptual design study .....	91
4.3.1 Decontamination .....	91
4.3.2 Inspection .....	96
4.3.3 Repair, maintenance and assembling .....	99
4.3.4 Temporary storage .....	107
4.3.5 Disassembling and testing .....	112
4.3.6 Transportation .....	121
4.3.7 Repair and maintenance building .....	129
4.4 Conclusion .....	134
Appendix .....	135
5. Tritium circulation system .....	139
5.1 Vacuum system .....	150
5.1.1 Introduction .....	150
5.1.2 Design conditions .....	150
5.1.3 Compound cryopump concept for main vacuum system ...	150

5.1.4	Turbo molecular pump concept for main vacuum pump ..	151
5.1.5	Conclusion .....	151
5.2	Fuel gas circulation system .....	159
5.2.1	Fuel gas storage system .....	159
5.2.2	Basic concept and operation mode of ZrNi alloy bed ..	161
5.2.3	Specification of ZrNi alloy bed fuel gas storage tank .....	162
6.	Heating, ventilation & air conditioning system and tritium clean-up system .....	171
6.1	Design guideline .....	171
6.2	Design conditions .....	172
6.3	Concept of zoning and specifications of compartments ..	172
6.4	System constructions .....	173
6.5	Specifications and outline drawings of equipments .....	174
6.6	Equipment layout .....	176
6.7	Duct route drawings .....	176
6.8	Utility specifications .....	176
6.9	System operation .....	177
6.10	Calculation of tritium clean-up system .....	177
6.11	Radioactive waste generation in heat, ventilation and air conditioned rooms .....	179
7.	Cooling and baking system .....	230
7.1	Introduction .....	230
7.2	Design conditions .....	230
7.2.1	Required primary cooling duty of each reactor .....	230
7.2.2	Cooling conditions of ACS reactor .....	230
7.3	Cooling loop constructions .....	234
7.3.1	Basic guideline .....	234
7.3.2	General flow diagram .....	234
7.3.3	Flow diagram of each reactor cell .....	236
7.4	Specification of main equipments .....	241
7.5	Analysis of temperature fluctuation for cooling system ..	255
7.6	Guide for cooling system components .....	259
7.7	Baking system .....	264
7.7.1	Purpose of baking .....	264
7.7.2	Area scope of circulation water heating .....	264

7.7.3	Baking capacity	264
7.7.4	Required heat duty	266
7.7.5	Comparison of heating methods	267
8.	Waste treatment and storage system	271
8.1	Introduction	271
8.2	Liquid waste treatment facility	271
8.2.1	Outline	271
8.2.2	Design policy	271
8.2.3	System function and constructions	272
8.2.4	System conditions	272
8.2.5	Design of equipments	273
8.3	Solid waste treatment facility	281
8.3.1	Outline	281
8.3.2	Design policy	281
8.3.3	System function and constructions	281
8.3.4	System conditions	282
8.3.5	Design of equipments	282
8.4	Waste storage facility	286
8.4.1	Outline	286
8.4.2	Design conditions	286
8.4.3	Facility design	286
9.	Control system	292
9.1	Purpose and scope of design	292
9.2	Design policy	292
9.3	Operation	293
9.4	Concept of system construction	295
9.5	Plasma control	297
9.5.1	Plasma position and shaping control	297
9.5.2	Temperature, density and current drive control	300
9.5.3	Combustion control	304
9.5.4	Disruption control	305
9.6	Function and constructions of control system	307
9.7	Conclusion	309
10.	Electric power system	335
10.1	System conditions	335

10.2	System outline	335
10.3	Practical method	335
10.4	Basic design	335
10.5	Future works	337
11.	Site factory plan	345
11.1	Specification of large reactor components for site factory fabrication	345
11.2	Concept of site factory	350
12.	Conclusion	354
	Acknowledgement	354
	References	355
Appendix - 1	('86 FER plant new design / additional design items)	358
Appendix - 2	(Constraints / Drivers List)	362

## 1. 緒 言

昭和61年度は核融合次期大型装置計画についていくつかの動きがあった。その第1は核融合会議のもとに設立された三つの分科会からの答申が出され、<sup>1)~3)</sup>次期大型装置の位置付けが明かにされると共に、装置の目的、機能、および今後の進め方が示唆された。第2はこの時点での世界の装置の実験結果から前年度まで採用して来たプラズマスケーリング則を変更する必要が生じたことである。第3は装置建設に許容される金額の大枠が示唆されたことにより、装置の計画、設計もこれに見合った対応を必要とする段階になって来たことである。

参考として上記分科会の議論のベースとなった四つの選択型式の概要をTable 1-1に掲げる。分科会の示唆はオプションCを中心に、BからDの範囲で次期装置の具体化を検討するものとされている。

以上の外的条件を踏まえ原研の次期大型装置、FER (Fusion Experimental Reactor) の設計においても各種の対応が必要とされた。特に、プラズマスケーリング則の更新は、装置規模を拡大する傾向であり、新しいスケーリングと装置コンポーネント、システム規模との相関を予め十分把握する必要があった。

そこでFER設計チームにおいては昭和61年度の作業基調を広義合理化(Design Improvement)に設定した。ここに言う合理化とは「コストを意識した高性能化」を意味しており、具体的には装置のコンパクト化、単純化、機能統合あるいは分離、設計マージンの見直し、あるいは先進的設計概念の導入を含むものである。

作業の進行は、第1にプラズマスケーリング則の更新、第2に更新されたスケーリング則を用いたパラメータスタディー、第3にコストを含む各種評価、第4に重要技術検討、第5に昭和61年度設計検討の為の型式の選定、第6にそれらの比較設計検討、更に進んで型式の絞り込みと、コンポーネント設計の順序で実施された。

これらの状況、設定をまとめてTable 1-2に示す。

システム設計グループの作業も先述の基調とステップに従い、当該担当分掌について逐次実施された。Table 1-3にシステム設計グループの担当作業を示す。システム設計グループとしてはコーディネーション作業を通じて他グループ作業の統括と方向付けを行うと共に、当グループとしてのプラント設計を併せて実施した。プラント設計に際しては'85 FER設計をベースに採り61年度設計による修正および新概念の導入を行った。

本報告書では昭和61年度当グループの作業のうち、システム積上げ、各プラントの設計についてその成果を記す。又、安全については別冊で報告する。

本報告書の理解を容易にする為に、昭和61年度設計作業の成果をかいつまんで以下に記す。

Table 1-2中のWork Steps (5)で選定された型式6ケースの概要と選定理由はTable 1-4に示すとおりである。6ケースの型式相互間、および前年度設計の'85 FERとの相違点を簡単にリストアップしたものをTable 1-5に一括して記載する。これらの炉型については炉本体はもとより、周辺システムを含めての総合的検討が可及的に行われた。各ケースの諸量について

て得られた結果を '85 F E R の結果とも対比したものを Table 1 - 6 にまとめて記す。

なお本報告書は次期大型装置設計 ('86 F E R) のシリーズ報告<sup>4)~28)</sup>の一環として作成されているので、関連事項の調査にはこれらを参照されたい。又本報告書は昭和 60 年度の設計とも密接な関連を有するので当該報告書<sup>29) 30)</sup>を併せて参照されたい。

Table 1-1 Examples of the NEXT STEP DEVICE specification and reactor cores plasma and reactor technology mission

	A		B		C	D
<u>features</u>						
operation mode	inductive current ramp-up	non-inductive current ramp-up	inductive current ramp-up	non-inductive current ramp-up	non-inductive current ramp-up	non-inductive current ramp-up
burning duration (s)	1000	3000	100	2000	800	100
energy multiplication rate	$Q \gtrsim 20$		$Q \gtrsim 20$		$Q \gtrsim 20$	$Q \gtrsim 20$
<u>major parameter*</u>						
OH coil flux swing (V · s)	150		100		50	15
major/minor radius (m)	5.6 / 1.3		5.3 / 1.3		4.9 / 1.3	4.5 / 1.36
plasma current (MA)	8.2		8.4		8.7	9.2
axial magnetic field (T)	5.4		5.1		4.7	4.1
plasma shape	oval (1.7)		oval (1.7)		oval (1.7)	oval (1.7)
heating · current drive power (MW)	55		50		45	45
nuclear fusion output (MW)	610		550		460	370
neutron wall loading (MW/m <sup>2</sup> )	1.2		1.15		1.0	0.88
total weight (t)	23,000		21,000		19,000	17,000
<u>reactor core plasma mission</u>						
(1) self ignition						
① α particle behavior ( $Q \geq 1$ )	○	○	○	○	○	○
② α particle heating ( $Q \geq 5$ )	○	○	○	○	○	○
③ burning control ( $Q \geq 20$ )	○	○	○	○	○	○
(2) long pulse burning						
① α particle heating ( $\geq$ few s)	○	○	○	○	○	○
② thermal instability control ( $\geq 10$ s)	○	○	○	○	○	○
③ ash exhaust ( $\geq 100$ s)	○	○	○	○	○	○
④ current diffusion control (100~1000s)	○	○	×	○	○	×



<p><u>reactor technology related mission</u></p> <p>(1) technical development indispensable for achieving reactor core plasma mission</p> <p>① fuel cycle</p> <p>② safety</p> <p>③ repair technology</p> <p>④ superconducting coil</p> <p>⑤ diagnostics, control, power source</p> <p>⑥ heating current drive device</p> <p>⑦ first wall</p>	<p>fuel injection, vacuum exhaust, tritium storage techniques</p> <p>environmental safety, workers safety (blanket is exclusively for shielding)</p> <p>in-situ replacement of first wall, etc., divertor/limiter plate replacement (partial replacement of shieldings)</p> <p>toroidal magnetic field coil, poloidal magnetic field coil, refrigerator</p> <p>electro-magnetic diagnostic system, diagnostic system for particles produced by nuclear reaction, density temperature diagnostic systems, gas pressure diagnostic system</p> <p>RF and/or NBI</p> <p>high heat load first wall material, high heat flux component structure</p>			
<p>(2) testings that can be implemented in the next step device</p> <p>① fuel cycle</p> <p>② power generation engineering (high temperature high pressure blanket)</p> <p>③ material test</p> <p>④ neutronics test</p>	<p>tritium breeding recovery test module, test on fuel purification isotope separation</p> <p>test module testing not applicable</p> <p>breeder, magnet material (conductor, insulator) irradiation test</p> <p>shielding experiment</p>			
<p>(3) testings that are not implemented in the next step device</p> <p>① fuel cycle</p> <p>② power generation engineering (high temperature high pressure blanket)</p> <p>③ material test</p> <p>④ reliability</p> <p>⑤ safety</p>	<p>tritium breeding and recovery with full-scale blanket (tritium breeding ration: more than 1)</p> <p>full-scale blanket      full-scale blanket, but module testing is also conducted in the case of "inductive"      full-scale blanket      modular size testing and full-scale blanket</p> <p>structural material irradiation test</p> <p>durability test on every component</p> <p>safety at the time when tritium breeding blanket is loaded (especially high temperature high pressure blanket)</p>			

\* these values are typical ones for each option

Table 1-2 Guideline for '86FER design study

1. CIRCUMSTANCES

- (1) DECISION OF OBJECTIVES AND MISSION BY THE COMMITTEE
- (2) NEEDS TO RENEW PLASMA SCALING LAWS
- (3) NEEDS OF DESIGN TO ALLOWABLE COST

2. OBJECTIVES OF '86 WORK

DESIGN IMPROVEMENT

3. WORK STEPS

- (1) RENEWING PLASMA SCALING LAWS TO BE APPLIED
- (2) PARAMETER STUDY
- (3) PHYSICAL, TECHNICAL, AND ECONOMIC EVALUATION
- (4) STUDY OF CRITICAL ISSUES
- (5) SELECTION OF MACHINE TYPE (PHASE 1)
- (6) COMPARATIVE SYSTEM DESIGN STUDY
- (7) SELECTION OF MACHINE TYPE (PHASE 2)
- (8) COMPONENT DESIGN STUDY

Table 1-3 The role of system design group

1. Coordination Work

- (1) System Integration
- (2) System Analysis
- (3) Time Scheduling
- (4) Design Coordination

2. Plant System Design

- (1) Site / Layout / Building / Facilities
- (2) Maintenance System
- (3) Rad-waste Disposal and Storage System
- (4) Fueling and Tritium System
- (5) Vacuum System
- (6) HVAC / TCS
- (7) Cooling System
- (8) Instrumentation and Control System
- (9) Power Distribution
- (10) Site Factory

3. Safety

Table 1-4 Comparative design study for FER (FY 1986)

Case	型式 (通称)	特 徴	基 本 諸 元				備 考	
			R (m)	a (m)	$\kappa$	ダイバタ $\phi_{OH}(V.S)$		
1	標準炉 (OptionC)	'86年度設定炉型式中次期装置検討 分科会で示唆されたもの	4.9	1.3	1.7	SND	50	'86年度 FER Reference 設計
2	高性能炉(C) シングルヌル (ACS)	標準炉の機能を保持した合理化設計	4.4	1.2	1.7	SND	50	合理化の取込み
3	高性能炉(C) ダブルヌル (ACD)	Case 2 と同主旨で高非円形度プラ ズマとダブルヌルダイバター方式の採用	4.0	0.95	2.0	DND	50	同 上 高 $\kappa$ , DND方式の検討
4	高性能炉(D) (MINI)	'86年度設定オプションDグループ からの先進的選択	3.8	1.0	2.0	SND	15	パラメータスタディ一範囲 でのコストミニマム炉
5	INTER LINK 炉 (ILINK)	常電導OHコイルを採用し, TFCコ イルと鎖交させた方式	4.7	1.7	1.7	SND	50	鎖交型の検討
6	NBI 炉 (NBIR)	電流駆動, 追加加熱として負イオン 源NBI採用を指向した方式	4.9	1.3	1.7	SND	50	標準炉の代替方式

Table 1-5 Comparison of new/old design concepts

Items	OP. C	ACS	ACD	MINI	ILINK	NBIR	85FER	Remarks
[1] Plasma								
1. $\tau$ e Scaling	Mirnov	←	←	←	←	←	INTOR	R
2. $\beta$ -Scaling	G=3.5	←	←	←	←	←	G=4.0	R
3. Elongation	k=1.7	←	2.0	2.0	1.7	1.7	k=1.5	C
4. OH Flux	50 Vs	←	←	15 Vs	50 Vs	50 Vs	100 Vs	R
5. CD/Heating	Common	←	←	←	←	←	Separate	R
[2] Reactor								
1. Structure								
First Wall	Armor	←	←	←	←	←	Bare SS	C
Distance $\Delta$	1.3 m	1.1 m	1.0 m	1.1 m	1.6 m	1.3 m	1.3 m	C
2. Maintenance								
Guard Ltr.	Yes	←	←	Armor	Yes	←	Non	C
Mov. Shld.	In/Out Bd	Outboard	←	Insitu	Outboard	Outboard	In/Out Bd	C
Beam Dump	Non	←	←	←	←	Yes	Non	C
[3] Magnet								
1. Level	1	2	2	2	2 (Cu)	1	1	C
2. Mcl. Heat	7 kW	35 kW	44 kW	61 kW	(20 kW)	7 kW	9 kW	C
3. Interlink	Non	←	←	←	Yes	Non	Non	C
[4] CD/Heating	RF	←	←	←	←	NBI	RF	C

Note: R; Renewed, C; Choice

Table 1-6 The indexes for FER evaluation

NO.	ITEMS	INDEX	UNITS	OP. C	A C S	A C D	MINI.	ILINK	NBIR.	85FER
P 00	PLASMA									
10	MAJOR R	R	m	4.92	4.42	4.02	3.84	4.74	4.92	5.20
20	MINOR R	a	m	1.32	1.25	0.95	1.02	1.67	1.32	1.12
30	ELONG.	k		1.7	1.7	2.0	2.0	1.7	1.7	1.5
40	TRIANGL.	δ		0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2
50	R*a*k		m <sup>2</sup>	11.0	9.4	7.6	7.8	13.5	11.5	8.7
60	DELTA	Δ	m	1.3	1.13	1.03	1.06	1.59	1.30	1.32
70	P.CR	Ip	MA	8.69	8.74	7.96	8.37	10.6	8.69	5.90
80	F.PW	Pf	MW	459	409	435	375	286	459	297
90	W.LD	Lw	MW/m <sup>2</sup>	1.03	1.07	1.47	1.23	0.53	1.03	0.68
100	DIVERTOR	TYPE		S	S	D	S	S	S	S
110	T.FIELD	Bt	T	4.68	4.61	5.07	4.58	3.08	4.68	5.30
120	OH FLUX	Φ oh	Vs	50	50	50	15	50	50	100
R 00	REACTOR	<Wt>	kt	<13.9>	<10.4>	< 8.9>	< 7.0>	< — >	<13.9>	<14.7>
M 00	MAGNET	<Wt>	kt	< 7.9>	< 5.4>	< 5.7>	< 4.2>	< — >	< 7.9>	< 8.2>
10	TF COIL	EMF	MAT	115	102	102	88	73	115	138
		EMF.1	GATm	3.4	2.8	2.6	2.3	2.4	3.4	3.8
		Etf	GJ	19	14	13.0	9.4	13.0	19.0	23.0
		Wt	kt	4.3	2.9	2.7	2.2	—	4.3	4.5
20	PF COIL	EMF	MAT	160	150	220	126	—	160	150
		EMF.1	GATm	3.8	2.7	4.4	1.9	—	3.8	3.7
		Epf	GJ	12	7	14	3.8	—	12	7
		Wt	kt	1.3	0.75	1.3	0.49	—	1.3	1.1
30	CL COIL	EMF.1	EMF.1	1	1	2	3	1	1	1
		Wt	kt	—	—	—	—	—	—	0.01
40	FEDER	Nbr	N	32	30	30	30	—	32	31
50	PIPING	Wt	wt	1	1	1	1	1	1	1
60	SP.STR	WT	kt	2.3	1.8	1.7	1.5	—	2.3	2.6
A 00	ASSEMBLY	<Wt>	kt	<21.8>	<15.8>	<14.6>	<11.2>	< — >	<21.0>	<22.9>
S 00	SUBSYSTEM									
10	FUL INJ		-	1	1	1	1	1	1	1
20	T.SYSTEM	F.Rt	gr/h	27	24	26	20	17	27	17
30	T C S	R.Vl	km <sup>3</sup> /h	4.6	3.9	3.9	3.9	4.6	4.2	4.4
40	VAC.SYSTM	SPD	l/s(10 <sup>5</sup> )	1.5	1.4	1.5	1.1	1.0	1.5	1.0
50	MNT.SYSTM	Fctr	Vol.f	100	73	67	60	82	82	106
C 00	COOLING									
10	WTR SY	CAP.	MW	770	690	720	610	650	740	690
20	He SY	CAP.	kw	50	90	100	120	—	50	50
30	LN SY	CAP.	kl/h	18	19	21	24	—	18	18
H 00	HEAT/CD									
10	ICH SY	Pwr	MW	25(45)	21(41)	24(44)	14(34)	9(29)	-	50
20	LHH SY	Pwr	MW	20	20	20	20	20	-	10
30	ECH SY	Pwr	MW	3	3	3	3	3	3	10
40	NBI SY	Pwr	MW	-	-	-	-	-	60	(60)
K 00	PWR SPLY									
10	TFC PS	Pwr	MW	5.7	4.3	3.9	2.6	3.9	5.7	6.9
		Esr	GJ	19.1	14.3	13.0	9.4	13.0	19.1	23.0
20	PFC PS	Pwrc	GVA	1.9	1.8	1.6	1.5	—	1.9	1.8
		Pwrg	MVA	520	370	430	600	—	520	490
		Esg	GJ	11.8	5.7	13	3.9	—	11.8	8.1
30	CTRC PS	Pwr	Pwr	1	1	2	3	1	1	1
40	HEAT MG	Pwrg	MVA	120	105	120	92	79	180	106
		Esg	GJ	4.0	3.7	4.0	3.5	3.2	10	2.6
D 00	DATA/CTL	-	-	1	1	1	1	1	1	1
B 00	BUILDING	Area	km <sup>2</sup>	38.2	35.7	37.4	34.7	—	37.0	38.6

## 2. システム構成

### 2.1 FER 構成ブロックダイアグラム

FER を構成する主要設備、およびそれらの相互関連を表すブロックダイアグラムを Fig. 2.1-1 に示す。

この図に挙げられている設備は、後述の構成レベル表との関連において、次の考え方にに基づき選定されたものである。

トカマク本体：レベル3の機器を記載する。

その他の設備：レベル2の設備を記載する。

ただし、真空排気設備、トリチウムシステムおよび冷却設備については、レベル3でもまだ比較的独立したシステムから構成されているため、レベル3の設備をブロックダイアグラムに示している。

建屋もまたレベル2に分類される設備であることから、Fig. 2.1-1には、その収納機械設備がわかる形で主要建屋施設を表示している。ただし、空調設備、クレーン設備などの建屋付帯設備はレベル3であるため、このブロックダイアグラムには一切図示されていない。

この図に含まれていないレベル2の設備、施設としては、種々の接地系設備、給水設備棟、排水設備棟、モックアップ試験棟、現地工場棟などがあるが、これらについては、FER プラント全体の中での比重、あるいはまた FER 運転上の必要性などを考えあわせ、ブロックダイアグラムの簡素化、見やすさのために割愛したものである。

ブロックダイアグラムの中で、各設備間の関連を示すために4種の線が用いられている。すなわち、実線はパワーの流れを、また破線は信号あるいはデータの流れを示している。二重実線は、ガス（例えば燃料ガス）、あるいは液体（例えば冷却水、液体ヘリウムなど）の配管によるオン・ラインの流れを示しており、一方、二重破線は、炉心構造物モジュールの交換、移送のような、配管によらないオフ・ラインの物流を表わしたものである。

ブロックダイアグラムが必要以上に複雑になることを避けるために、これらのラインも、主要な関係についてのみ表示することとし、特に表現しなくてもその関連がわかるもの、あるいは重要性が低いものについては、表示を省略するか、簡略化した表現を採用している。例えば、全系制御設備と各設備の制御関係、操作用配電設備から各設備電気機器へのパワーの流れ、種々の補機への冷却水の流れなどがその例である。

ブロックダイアグラムに示されるように、JT-60 に比べて FER はより多くの種類の機器設備から構成されている。その理由と該当する機器設備名（ブロックダイアグラム記載レベル）は次の通りである。

(1) 超電導コイルの使用に伴い必要とされる関連設備

- ① クライオスタット
- ② クライオスタット排気設備

③ コイル冷凍系

(2) DT 反応実施に伴い必要とされる関連設備

a) 中性子利用, 遮蔽のための機器設備

- ① 可動遮蔽体
- ② 固定遮蔽体
- ③ ブランケットテストモジュール

b) トリチウム取扱いのためのシステム

- ① 燃料ガス精製系
- ② 燃料ガス同位体分離系
- ③ 燃料ガス貯蔵系
- ④ 雰囲気トリチウム浄化系
- ⑤ テストモジュールトリチウム回収系

c) 放射化された炉心構造物機器の交換, 処理, 貯蔵のための設備

- ① 本体分解移動システム
- ② 分解・修理設備
- ③ 解体設備
- ④ 廃棄物処理・貯蔵設備

さらにまた, '85FER と '86FER を比較した場合, ブロックダイヤグラム上は設備構成上の差異はほとんど見られず, わずかに '86FER にはガードリミタが新たに設置されている程度である。なお, Fig. 2.1-1 のブロックダイヤグラムは, RF によるプラズマ加熱・電流駆動方式をベースとしたものであり, もし RF のかわりに NBI が用いられる場合には, 当然設備構成も若干変更される。



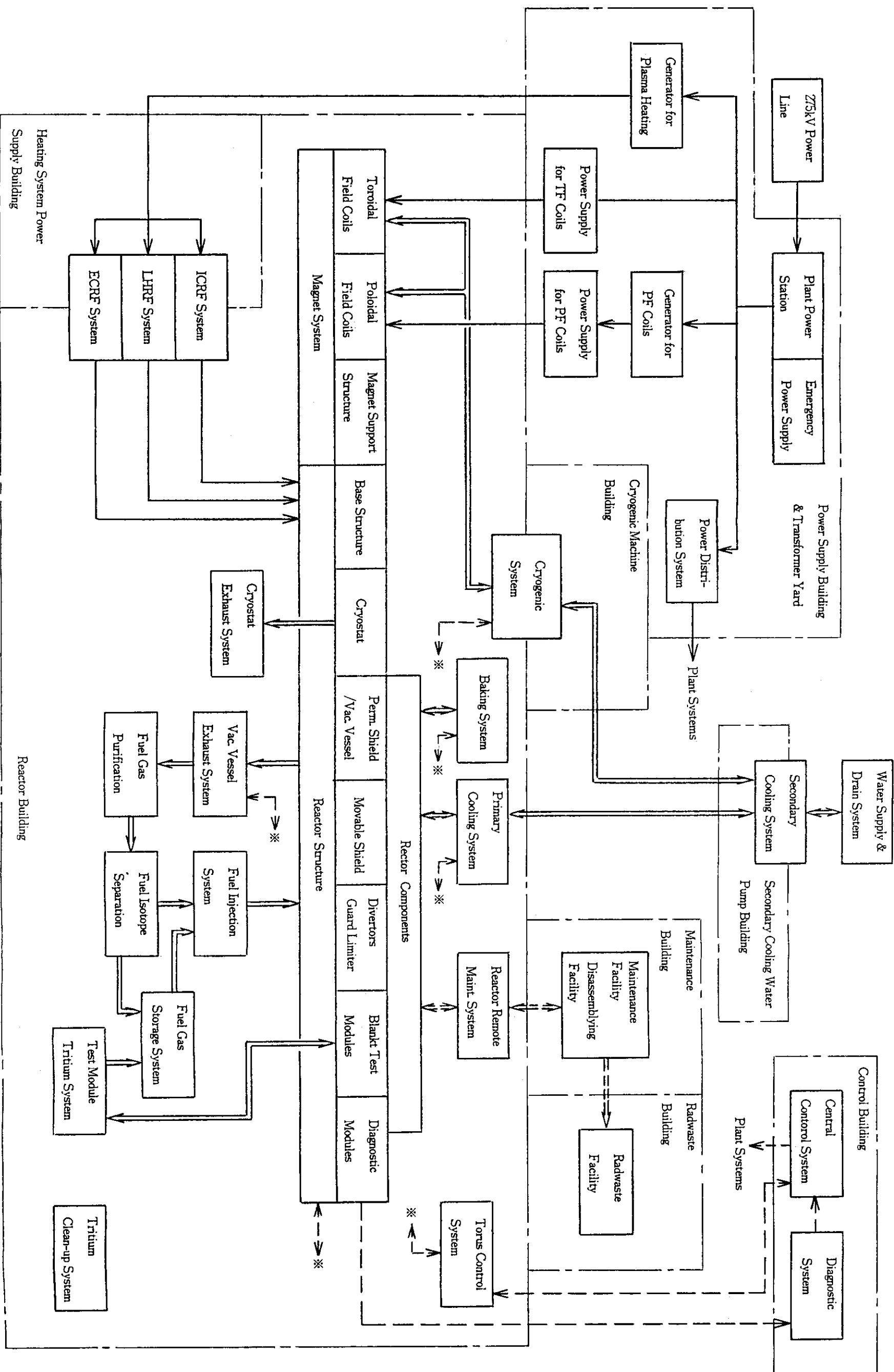


Fig. 2.1-1 '86FER plant systems block diagram

## 2.2 FER 構成レベル

FER のような大規模プロジェクトを効率良く、かつ合理的に設計、製作、建設を進めていくためには各設備をもれなく摘出し、適当なサブシステムにブレイクダウンし、各設備間の調整を図りながら、階層別に整理しておくことが作業遂行上望ましい。したがって、今後、基本設計、詳細設計へと本格的に設計が進展していくと予想される FER に対して、本年度、そのような意図から Table 2.2-1 に示すような構成レベル表を作成した。

本構成レベル表は JT-60 のそれを参考に主としてハードウェアについて 4 層に分類している。

本構成レベル表作成にあたっての基本的考え方、または JT-60 用構成レベル表との差異などについて、以下に示す。

- ① レベル 1 として下記の 8 項目を選定した。

- トカマク本体
- トカマク本体付属設備
- 電源系
- サイト接地系設備
- 制御、計測設備
- 加熱装置
- 建家、土木
- 各種施設

- ② トカマク本体は炉本体とマグネット系から構成され（レベル 2）、炉本体はトラス構造体を形成する機器とする。
- ③ トカマク本体付属設備は、マグネット系電源、トカマク制御・計測設備、プラズマ加熱装置を除いた、実験炉本体関連の付属設備とし、冷却設備、分解・修理設備も含めた。ただし、放射性廃棄物処理・貯蔵設備はここには含めず、各種施設とした。
- ④ 電源系はマグネット系電源、ポロイダルコイル用発電設備のほか、275 kV 送電線、中央変電所さらに操作用配電設備、非常用電源も含めた。なお、加熱用発電設備については加熱装置の中に含めた。
- ⑤ 制御、計測設備は主として、プラズマ用制御、計測設備とし、工学及びプラント運転（たとえば、冷却系、真空排気系などトカマク本体関連などの各種プロセス量など）の制御、計測設備はそれぞれの関連設備、機器の中に含めた。
- ⑥ 加熱装置はそれぞれ、独立して設計、製作しやすいように、ICRF、LHRF、ECRF、NBI を分離するとともに、受配電設備、1 次冷却設備、制御設備などの関連設備もそれぞれの項目の中に含めた。
- ⑦ 電源系、各種施設などの中には JT-60 用のものを兼用できるものもあると思われるが、それらは今後の設計の進展によって判断されるべきものとし、ここでは項目をもれなく摘出しておくため、列挙しておいた。

なお、現時点では設計が十分でなく、ハードウェア構成が明らかにされていない設備について

はレベル3までの記述にとどめている。したがって、設計の進展に伴い、構成レベル表は逐次見直し、改訂されていくことが必要である。

今後のFERのシステム設計においてはできる限り、本構成分類に従った思考をされることが期待される。

Table 2.2-1 Work break structure for FER

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
11000 トカマク 本体 (Tokamak)	11100	炉本体 (Reactor)	11110	可動遮蔽体 (Movable Shield Structure)	11111	第1壁 (First Wall)
					11112	可動遮蔽 (Movable Shield)
					11113	シェル導体 (Shell Conductor)
					11114	冷却配管 (Piping)
			11120	ダイバータ (Divertor Structure)	11121	ダイバータ板 (Divertor Plate)
					11122	ダイバータ板支持構造 (Support Structure of Divertor Plates)
					11123	ダイバータ遮蔽 (Divertor Shield)
					11124	ダイバータ遮蔽延長部 (Divertor Frame)
					11125	冷却配管 (Piping)
			11130	ガードリミタ (Guard Limiter)	11131	グラファイトアーマー (Graphite Armer Tile)
		11132	支持基板 (Substrate)			
		11133	冷却配管 (Piping)			
		11134	遮蔽プラグ (Shield Plug)			
		11135	ハンガーロッド (Hanger Rod)			
		11136	ベローズ (Bellows)			
11140	固定遮蔽体 (Permanent Shield Structure)	11141	第1壁 (First Wall)			
		11142	固定遮蔽 (Permanent Shield)			
		11143	遮蔽ポスト (Shield Post)			
		11144	電気絶縁部 (Electrical Insulation Part)			
		11145	冷却配管 (Piping)			
11150	真空容器 (Vacuum Vessel)	11151	真空容器本体 (Vacuum Vessel)			
		11152	アクセスポート (Access Port)			
		11153	アクセスドア (Access Door)			
		11154	一周抵抗部 (One-turn Resistance Part)			
		11155	熱膨張吸収構造 (Thermal Expansion Absorber)			
		11156	冷却配管 (Piping)			
		11157	真空排気ダクト (Exhaust Duct)			
		11158	支持架台 (Pedestal)			
11160	クライオスタット (Cryostat)	11161	クライオスタット容器本体 (Cryostat)			
		11162	LN <sub>2</sub> シールド (LN <sub>2</sub> Shield)			
		11163	熱絶縁部 (Thermal Insulation Part)			
		11164	支持部 (Support Structure)			
11170	ブランケットテストモ ジュール (Blanket Test Module)	11171	テストカプセル (Test Capsule)			
		11172	ブランケットテストモジュール (Blanket Test Module)			
		11173	テストジャケット (Test Jacket)			
		11174	テストポート (Test Port)			
		11175	テストモジュール遮蔽 (Test Module Shield)			
		11176	冷却配管 (Piping)			
11180	計測モジュール (Diagnostic Module)	11181	磁気プローブ (Magnetic Probe)			
		11182	ロゴフスキーコイル (Rogovsky Coil)			
		11183	ワンターンコイル (One-turn Loop)			
		11184	<sup>235</sup> U フィSSIONチャンバ (Fission Chamber)			
		11185	レーザー干渉計 (Laser Interferometer)			
		11186	レーザー散乱計 (Laser Scattering Measurement)			
		11187	電子サイクロトロン放射計 (Electron Cyclo- tron Radiation Measurement)			

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
	11200	マグネット系 (Magnet System)	11190	基礎部品 (Base Structure)	11191	基礎部品 (Elemental Part)
			11210	トロイダル磁場コイル (Toroidal Field Coil)	11211	単位コイル (Unit Coil)
					11212	電流リット (Current Lead)
			11220	ポロイダル磁場コイル (Poloidal Field Coil)	11213	冷凍配管 (Cryogenic Piping)
					11221	中心部ソレノイドコイル (Center Solenoid Coil)
			11222	外周部リングコイル (Outer Ring Coil)		
11223	ダイバータコイル (Divertor Coil)					
11224	電流リット (Current Lead)					
11225	冷凍配管 (Cryogenic Piping)					
11230	制御コイル (Active Control Coil)	11231	制御コイル (Active Control Coil)			
11232		11232	電流リット (Current Lead)			
11233		11233	冷却配管 (Pipe)			
11240	コイル支持系 (Magnet Support Structure)	11241	中心支柱 (Bucking Cylinder)			
		11242	コイル間支持 (Inter-coil Support)			
		11243	中心部ソレノイドコイル支持 (Center Solenoid Coil Support)			
		11244	外周部リングコイル支持 (Outer Ring Coil Support)			
		11245	支持脚 (Support Stand)			
11250	コイル計装計 (Magnet Measurement System)					
12000 トカマク 本体付属 設備  (Reactor Auxiliary Systems)	12100	燃料注入装置 (Fuel Material Feed System)	12110	燃焼フェーズ用ペレット入射 装置 (Injector for Burning Phase)	12111	連続式氷製造装置 (Pellet Producer)
					12112	アーク放電空気銃式装置 (Arc Discharge Gas Gun)
					12113	レールガン (Rail Gun)
					12114	ガイドチューブ (Guide Tube)
					12115	液体ヘタンク (LHe Tank)
	12116	ペロースポンジ (Bellows Pump)				
	12117	ターボモレキュラポンプ (Turbomolecular Pump)				
	12118	グローブボックス (Glove Box)				
	12119	プロPELLANTガス供給系 (Propellant Gas Supply System)				
	12200	トリチウムシステ ム (Tritium System)	12210	燃料ガス精製系 (Fuel Gas Purifica- tion System)	12211	貯蔵タンク (Storage Tank)
12212					Pd合金膜透過器 (Palladium Diffuser)	
12213					触媒反応器 (Catalytic Oxidizer)	
12214					コールドトラップ (Cold Trap)	
12215					コールドトラップ再生用加熱器 (Heater)	
12216	固体電解質電解槽 (Electrolysis Cell)					
12217	移送ポンプ及び真空ポンプ (Transfer Pump and Vacuum Pump)					
12218	生成ガス冷却器 (Cooler)					
12219	ヘリウム及び酸素供給装置 (He & O <sub>2</sub> )					

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
			1211A Supply System Zr-Niゲッター (Zr-Ni Getter) 1221B 配管 (Piping) 1221C グローブボックス (Glove Box)
		12220 燃料ガス同位体分離系 (Fuel Gas Isotope Separation System)	12221 深冷蒸留塔 (Cryogenic Distillation Column) 12222 加熱器 (Heater) 12223 蒸発器 (Evaporator) 12224 同位体平衡器 (Equilibrator) 12225 深冷活性炭吸着塔 (Absorber) 12226 同位体分離保冷槽 (Cryostat for Cryogenic Distillation Column) 12227 グローブボックス (Glove Box)
		12230 燃料ガス貯蔵系 (Fuel Gas Storage System)	12231 移送ポンプ (Transfer Pump) 12232 循環ポンプ (Pump) 12233 ガス混合器 (Gas Mixer) 12234 ZrNi合金ベッド (ZrNi Bed) 12235 配管 (Piping) 12236 グローブボックス (Glove Box)
		12240 雰囲気トリチウム浄化系 (Tritium Clean-up System)	12241 ブLOWER (Blower) 12242 熱交換器 (Heat Exchanger) 12243 触媒筒 (Catalyzer Chamber) 12244 吸着筒 (Absorber Chamber) 12245 冷却水系 (Cooling Water System) 12246 冷凍機 (Refrigerator) 12247 加熱機 (Heater) 12248 制御盤 (Control Panel) 12249 分離器 (Separator) 1224A 貯蔵タンク (Tank) 1224B 配管 (Piping) 1224C グローブボックス (Glove Box)
	12300 真空排気設備 (Vacuum System)	12310 真空容器排気設備 (Vacuum Vessel Exhaust System)	12311 クライオポンプ (Cryopump) 12312 ゲート弁 (Gate Valve) 12313 ベーキング設備 (Baking System) 12314 配管 (Pipe) 12315 液体窒素供給系 (LN <sub>2</sub> Supply System) 12316 冷却水系 (Cooling Water System) 12317 測定系 (Instrument System) 12318 圧空系 (Compressed Air Supply System) 12319 計測系 (Measurement System) 1231A ターボ分子ポンプ (Turbo-molecular Pump) 1231B スパイラルブースターポンプ (Spiral Booster Pump) 1231C メタルベローズポンプ (Metal Bellows Pump) 1231D 液体ヘリウム供給系 (LHe Supply System)
		12320 クライオスタット排気設備 (Cryostat Exhaust System)	12321 ローリー真空ポンプ (Rotary Vacuum Pump) 12322 メカニカルブースターポンプ (Mechanical Booster Pump) 12323 オイルディフュージョンポンプ (Oil Diffusion Pump) 12324 コールドトラップ (Cold Trap) 12325 ゲートバルブ (Gate Valve)

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	12400 本体分解移動システム (Maintenance System)	12410 本体交換システム (Torus Components Replacement System)	12411 ダイバータ交換システム (Divertor Replacement System)
			12412 ガードリミタ交換システム (Guard Limiter Replacement System)
			12413 可動遮蔽交換システム (Movable Shield Replacement System)
			12414 加熱装置交換システム (RF Launcher Replacement System)
			12415 テストモジュール交換システム (Test Module Replacement System)
			12420 遠隔取扱システム (Remote Handling System)
		12421 床面走行型モビュラシステム (Mobile Manipulator System)	12422 クレーン搭載モビュラシステム (Crane-mounted Manipulator System)
			12423 真空シール自動溶接切断システム (Automatic Lip Seal Welding/Cutting System)
			12424 遠隔継手 (Remotely Coupler)
		12430 点検・検査システム (Inspection System)	12431 炉内点検・検査システム (In-vessel Inspection System)
			12432 真空リーク探知システム (In-vessel Vacuum Leak Detection System)
			12433 炉室内点検・検査システム (Inspection System)
	12440 移送システム (Transfer System)	12441 天井走行クレーン (Overhead Travelling Crane)	
		12442 移送台車 (Transfer Vehicle)	
		12443 移送キャスク (Transfer Casks)	
	12450 遠隔制御設備 (Remote Control System)	12451 制御盤、及び操作設備 (Control Panel and Operation Desk)	
		12452 計算機システム (Computer System)	
		12453 データ伝送システム (Data Transmission System)	
12454 動力伝送システム (Power Supply System)			
12455 保護インターロックシステム (Interlock System)			
12500 本体制御設備 (Torus Control System)	12510 本体計装 (Instrumentation System)		
		12520 ベーキング設備制御装置 (Baking Control System)	
		12530 本体冷却系制御設備 (Control System of Reactor Component Cooling System)	12531 第1壁/遮蔽体冷却系制御設備 (Control System of First Wall/ Shield Cooling System)
12532 遮蔽体冷却系制御設備 (Control System of Shield Cooling System)			
12533 ダイバータ冷却系制御設備 (Control System of Divertor Cooling System)			

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4			
		12540	ガス冷却系制御設備 (Control System of Gas Cooling System)			
		12550	ゲートバルブ制御設備 (Control System of Gate Valve)			
		12560	真空排気系制御設備 (Control System of Vacuum System)	12561 真空容器排気系制御設備 (Control System of Vacuum Vessel Exhaust System) 12562 クライスタット排気系制御設備 (Control System of Cryostat Exhaust System)		
		12570	コイル冷凍系制御設備 (Control System of Cryogenic System)			
		12580	本体保護インターロック盤 (Interlock Panel for Protection of Reactor)			
12600	冷却・ベーキング設備 (Cooling and Baking System)	12610	1次冷却設備 (Primary Cooling System)	12611 循環ポンプ (Primary Pump) 12612 中間熱交換器 (Intermediate Heat Exchanger) 12613 バッファタンク (Buffer Tank) 12614 冷却水貯槽 (Water Storage Tank) 12615 配管 (Piping) 12616 加圧器 (Pressurizer) 12617 Neガス処理系 (Ne Gas Processing System) 12618 廃ガス処理系 (Exhaust Gas Processing System) 12619 精製系 (Purification System)		
		12620	2次冷却設備 (Secondary Cooling System)	12621 循環ポンプ (Pump) 12622 配管 (Piping) 12623 冷却塔 (Cooling Tower)		
		12630	給排水設備 (Water Supply and Treatment System)	12631 給水設備 (Water Supply System) 12632 純水製造設備 (Deminerlized Water Producing System) 12633 排水処理設備 (Waste Water Treatment System)		
		12640	ベーキング設備 (Baking System)	12641 加熱設備 (Heating System) 12642 循環系 (Circulating System) 12643 配管 (Piping)		
		12700	コイル冷凍系 (Cryogenic System)	12710	冷凍・液化機系 (He Ref./Liq. System)	
				12720	SHE冷凍系 (SHE Cooling System)	12721 SHEポンプ (SHE Pump) 12722 SHE熱交換器槽 (SHE Heat Exchanger Vessel)



Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		
			12730	真空容器外冷凍配管 (Cryogenic Piping in Outer Part of Vacuum Vessel)			
	12800	分解・修理・解体 ・試験設備 (Repair, Maintenance, Dismantling and Examination System)	12810	分解・修理設備 (Repair and Maintenance System)	12811 12812	除染設備 (Decontamination System) 試験・検査設備 (Examination and Test System)	
				12813 12814 12815 12816	遠隔取扱設備 (Remote Handling System) 移送システム (Transfer System) 保管設備 (Storage System) 修理設備 (Repair System)		
				12820	解体設備 (Dismantling System)	12821 12822 12823 12824 12825 12826 12827	水中切断システム (Underwater Cutting System) 遠隔取扱システム (Remote Handling System) 増殖材回収設備 (Breeder Recovery System) 切断・減容設備 (Cutting and Press System) 除染設備 (Decontamination System) 缶収納設備 (Packaging System) 移送システム (Transfer System)
				12830	試験設備 (Examination System)	12831 12832 12833 12834 12835 12836	試験片加工設備 (Machining System) 試験設備 (Examination System) 遠隔取扱システム (Remote Handling System) 除染設備 (Decontamination System) 缶収納設備 (Packaging System) 移送システム (Transfer System)
				12840	一時保管設備 (Temporary Storage System)	12841 12842 12843 12844 12845	保管設備 (Storage System) 昇降台 (Lifting Table) 移送設備 (Transfer System) 遠隔監視設備 (Monitoring System) 崩壊熱除去設備 (Decay Heat Removal System)
				12850	中間移送設備 (Transfer System)	12851 12852 12853	移送台車 (Transfer Vehicle) ハッチ (Hatch) 気送管 (Air Shooter)

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
13000 電源系 (Power Supply System)	13100 トロイダル磁場コイル電源 (Power Supply System of TF Coil)	13110 系統電力系電源 (Power Supply System of TF Coil)	13111 整流装置 (Converter) 13112 回路装置, 機器 (Auxiliary Circuits) 13113 フィルタ装置, 力率改善装置 (Filter, Static Condenser)	
		13120 電源制御設備 (Control System)		
		13130 共通設備 (Common System)	13131 共通回路用装置 (Utility Line) 13132 補助電源設備 (Auxiliary Power Supply)	
	13200 ボロイダル磁場コイル電源 (Power Supply System of PF Coil)	13210 ボロイダル磁場コイル電源 (Power Supply System of PF Coil)	13211 変換装置 (Converter) 13212 誘導電圧発生装置 遮断器 (Voltage Induction Circuit) 13216 回路装置, 機器 (Auxiliary Circuits)	
		13260 電源制御設備 (Control System of Power Supply)	13261 電源運転制御装置 (Operating System of Power Supply) 13262 プラズマ制御装置 (Plasma Control System)	
		13270 共通設備 (Common System)	13271 共通回路用装置, 機器 (Utility Line) 13272 補助電源設備 (Auxiliary Power Supply) 13273 制御装置試験用シミュレータ (Simulator for Test of Control System) 13274 模擬負荷コイル (Simulation Coil)	
	13300 ボロイダル磁場コイル用発電設備 (Generation System of PF Coil)	13310 ボロイダルコイル用発電設備 (Generation System of PF Coil)	13311 交流発電機 (Motor Generator) 13312 フライホイール (Flywheel) 13313  thyristor 駆動装置 (Thyristor Converter) 13314 発電機付属装置 (Generator Accessory) 13315 励磁装置 (Exciter) 13316 発電機主回路装置 (Main Circuit Equipment) 13317 整流装置 (Rectifier) 13318 回路装置, 機器 (Auxiliary Circuits) 13319 フィルタ装置, 力率改善装置 (Filter, Static Condenser)	
	13400 電力系 (Power Distribution System)	13411 275kV送電線 (275kV Utility Network)	13420 中央変電所 (Substation)	13421 275kV変電設備 (275kV Transformer) 13422 66kV変電設備 (66kV Transformer) 13423 非常用ディーゼル発電設備 (Emergency Diesel Generator) 13424 中央変電所制御室建家 (Control Building of Substation) 13425 非常用発電機室建家 (Emergency Generator Building) 13426 中央変電所ケーブルダクト (Substation Cable Duct) 13427 通信鉄塔 (Communication Tower)
				13500 付属設備 (Auxiliary System)

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
			13520	非常用電源 (シールド発電機除く) (Emergency Power Supply)	13521 13522 13523	非常系高圧配電設備 (High Voltage Switch Gear for Emergency System) 非常系低圧配電設備 (Low Voltage Switch Gear for Emergency System) 無停電電源設備 (Uninterruptible Power Supply)
14000 サイト接地系設備 (Earth System in Site)	14100	炉本体建家接地系設備 (Earth System in Reactor Building)	14110	炉本体建家網状接地電極 (Mesh Earth Electrode in Reactor Building)		
			14120	炉本体建家内接地線 (Earth Line in Reactor Building)		
	14200	制御棟接地系設備 (Earth System in Control Building)	14210	制御棟網状接地電極 (Mesh Earth Electrode in Control Building)		
			14220	制御棟建家内接地線 (Earth Line in Control Building)		
	14300	電源棟接地系設備 (Earth System in Power Supply Building)	14310	電源棟網状接地電極 (Mesh Earth Electrode in Power Supply Building)		
			14320	電源棟建家内接地線 (Earth Line in Power Supply Building)		
	14400	分解・修理棟接地系設備 (Earth System in Repair and Maintenance Building)	14410	分解修理棟網状接地電極 (Mesh Earth Electrode in Repair and Maintenance Building)		
			14420	分解修理棟建家内接地線 (Earth Line in Repair and Maintenance Building)		
	14500	廃棄物処理・貯蔵建家接地系設備 (Earth System in Radwastes Treatment and Storage Building)	14510	廃棄物処理・貯蔵建家網状接地電極 (Mesh Earth Electrode in Radwastes Treatment and Storage Building)		
			14520	廃棄物処理・貯蔵建家内接地線 (Earth Line in Radwastes Treatment and Storage Building)		

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
	14600	接地幹線設備 (Main Earth Line System)				
	14700	総合基準接地電極 (Standard Earth Electrode)				
15000 制御、計測 設備  (Instrumentation and Control System)	15100	全系制御設備 (Central Control System)	15110	全系制御設備制御盤 (Control Panel of Central Control System)	15111	中央コンソール (Central Console)
					15112	総括コンソール (Total Console)
					15113	補助グラフィック盤 (Auxiliary Graphic Panel)
					15114	計測調整室表示盤 (Display Panel of Instrumentation Regulation Room)
					15115	全系制御設備補助リレー盤 (Auxiliary Relay Panel of Central Control System)
					15116	全系制御設備故障表示盤 (Failure Display Panel of Central Control System)
			15120	計算機システム (Computer System)	15121	運転制御計算機システム (Computer System for Reactor Operation)
					15122	放電制御計算機システム (Computer System for Plasma Discharge)
					15123	バックアップ計算機 (Back-up Computer)
					15124	計算機システム共通機器 (Common Components of Computer System)
					15125	フィードバック制御計算機システム (Computer System for Feedback Control)
			15130	全系制御設備CAMACシステム (CAMAC System for Central Control System)	15131	運転管理系CAMACシステム (CAMAC System for Reactor Operation Control)
15132	放電管理系CAMACシステム (CAMAC System for Plasma Discharge Control)					
15133	フィードバック制御系CAMACシステム (CAMAC System for Feedback Control)					
15140	全系制御設備タイミングシステム (Timing System of Central Control System)	15141	制御棟タイミングシステム (Timing System of Control Building)			
		15142	電源棟タイミングシステム (Timing System of Power Supply Building)			
		15143	炉本体棟タイミングシステム (Timing System of Reactor Building)			
		15144	分解・修理棟タイミングシステム (Timing System of Maintenance Building)			
		15145	廃棄物処理・貯蔵棟タイミングシステム (Timing System of Radwastes Treatment and Storage Building)			
15150	プラズマモニタ用機器 (Plasma Monitoring System)	15151	電磁気計測信号処理回路 (Data Processing System of Electro-magnetic Detector)			
		15152	プラズマ・データ入力用機器 (Plasma Diagnostic Instruments)			
		15153	硬X線モニタ (Hard X-ray Monitor)			
		15154	中性子モニタ (Neutron Monitor)			

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
			15160	保護インターロックシステム (Interlock System)	15161 15162 15163	保護インターロック盤 (Interlock Panel) 非常停止用押釦 (Emergency Stop Button) 地震計 (Seismometer)
			15170	制御用配電設備 (Power Distribution System for Control)	15171 15172 15173 15174 15175 15176	制御棟制御盤用配電盤 (Switchboard for Control Panel of Control Building) 制御棟計算機用配電盤 (Switchboard for Computer of Control Building) 整流器棟分電盤 (Distributor for Converter) 炉本体棟分電盤 (Distributor for Reactor Building) 分解修理棟分電盤 (Distributor for Maintenance Building) 廃棄物処理・貯蔵棟分電盤 (Distributor for Radwastes Treatment and Storage Building)
			15180	制御用付属設備 (Auxiliary System for Control)	15181 15182	カラーITVシステム (Color ITV System) 制御用通信設備 (Communication System for Control)
	15200	計測装置 (Diagnostic System)	15210	プラズマ密度測定システム (Electron Density Measuring System)		
			15220	電子温度測定システム (Electron Temperature Measuring System)		
			15230	イオン温度測定システム (Ion Temperature Measuring System)		
			15240	不純物挙動診断システム (Impurity Diagnostic System)		
			15250	放射損失測定システム (Radiation Flux Measuring System)		
			15260	周辺プラズマ監視システム (Peripheral Plasma Monitoring System)		
			15270	データ処理設備 (Data Processing System)		
			15280	共通設備 (Diagnostic Support System)		
			15290	新計測器群 (New Diagnostic Systems)		

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
21000 加熱装置 (Heating System)	21100	ICRF 加熱装置 (ICRF Heating System)	21110	励振増幅系 (Driver System)	21111	発振変調盤 (Oscillation Modulator)
			21112	励振増幅盤 (Driver)	21113	電源盤 (Power Panel)
			21114	制御盤 (Control Panel)		
			21120	大電力増幅系 (High Power Ampli- fier System)	21121	低電力増幅盤 (Low Power Amplifier)
			21122	中間電力増幅盤 (Intermediate Power Amplifier)	21123	大電力増幅盤 (High Power Amplifier)
			21124	冷却装置 (Cooling System)	21125	制御盤 (Control Panel)
			21130	伝送系 (Transmission System)	21131	大電力立体回路 (High Power Transmi- ssion Line)
			21132	導波管 (Wave Guide)	21133	導波管支持架台 (Support Structure of Wave Guide)
			21134	冷却加圧装置 (Cooling System)	21135	制御盤 (Control Panel)
			21140	結合系 (Launcher System)	21141	高周波加熱結合系 (RF Antenna Coupling System)
21142	結合系駆動装置 (Steering System)	21143	マニfold (Manifold)			
21144	整合装置 (Matching System)	21145	支持架台 (Support Structure)			
21146	冷却加熱装置 (Circulation System of Launcher)	21147	大口徑ゲートバルブ (Gate Valve)			
21148	制御盤 (Control Panel)					
21150	真空排気設備 (Vacuum System)	21151	真空排気系 (Exhaust System)			
21152	ベーキング系 (Baking System)	21153	圧空系 (Compressed Air System)			
21154	制御盤 (Control Panel)					
21160	電源設備 (Power Supply)	21161	受電盤 (Receiving Panel)			
21162	高圧配電盤 (High Voltage Panel)	21163	低圧配電盤 (Low Voltage Panel)			
21164	高圧電源装置 (High Voltage Power Supply)	21165	低圧電源装置 (Low Voltage Power Supply)			
21166	冷却装置 (Cooling System)	21167	制御盤 (Control Panel)			
21170	1次冷却設備 (Primary Cooling System)	21171	循環系 (Circulation System)			
21172	熱交換器 (Heat Exchanger)	21173	純水製造装置 (Purifier)			
21174	制御盤 (Control Panel)					
21180	制御設備 (Control System)	21181	中央制御盤 (Central Control Panel)			
21182	計算機システム (Computer System)	21183	CAMACシステム (CAMAC System)			
21184	保護インターロック盤 (Interlock Panel for Protection)	21185	計測モニタ盤 (Monitor Panel)			
21186	現場制御盤 (Local Control Panel)					

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		21190 受配電設備 (Receiving and Distribution System)	
	21200 L H R F 加熱装置 (LHRF Heating System)	21210 励振増幅系 (Driver System)	21211 発振変調盤 (Oscillation Modulator) 21212 励振増幅盤 (Driver) 21213 電源盤 (Power Supply) 21214 制御盤 (Control Panel)
		21220 大電力増幅系 (High Power Amplifier System)	21221 低電力増幅盤 (Low Power Amplifier) 21222 中間電力増幅盤 (Intermediate Power Amplifier) 21223 大電力増幅盤 (High Power Amplifier) 21224 冷却装置 (Cooling System) 21225 制御盤 (Control Panel)
		21230 伝送系 (Transmission System)	21231 大電力立体回路 (High Power Transmission Line) 21232 導波管 (Wave Guide) 21233 導波管支持架台 (Support Structure of Wave Guide) 21234 冷却加压装置 (Cooling System) 21235 制御盤 (Control Panel)
		21240 結合系 (Launcher System)	21241 高周波加熱結合系 (Antenna System) 21242 結合系駆動装置 (Steering System) 21243 マニホールド (Manifold) 21244 整合装置 (Matching System) 21245 支持架台 (Support Structure) 21246 冷却加熱装置 (Circulation System of Launcher) 21247 大口径バルブ (Gate Valve) 21248 制御盤 (Control Panel)
		21250 真空排気設備 (Vacuum System)	21251 真空排気系 (Exhaust System) 21252 ベーキング系 (Baking System) 21253 圧空系 (Compressed Air System) 21254 制御盤 (Control Panel)
		21260 電源設備 (Power Supply)	21261 受電盤 (Receiving Panel) 21262 高圧配電盤 (High Voltage Panel) 21263 低圧配電盤 (Low Voltage Panel) 21264 高圧電源装置 (High Voltage Power Supply) 21265 低圧電源装置 (Low Voltage Power Supply) 21266 冷却装置 (Cooling System) 21267 制御盤 (Control Panel)
		21270 1次冷却設備 (Primary Cooling System)	21271 循環系 (Circulation System) 21272 熱交換器 (Heat Exchanger) 21273 純水製造装置 (Purifier) 21274 制御盤 (Control Panel)
		21280 制御設備 (Control System)	21281 中央制御盤 (Central Control Panel) 21282 計算機システム (Computer System) 21283 CAMACシステム (CAMAC System) 21284 保護インターロック盤 (Interlock Panel for

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
			Protection) 計測パネル (Monitor Panel) 21285 現場制御盤 (Local Control Panel) 21286
		21290 受配電設備 (Receiving and Distribution System)	
	21300 ECRF加熱装置 (ECRF Heating System)	21310 励振増幅系 (Driver System)	21311 発振変調盤 (Oscillation Modulator) 21312 励振増幅盤 (Driver) 21313 電源盤 (Power Supply) 21314 制御盤 (Control Panel)
		21320 大電力増幅系 (High Power Amplifier System)	21321 低電力増幅盤 (Low Power Amplifier) 21322 中間電力増幅盤 (Intermediate Power Amplifier) 21323 大電力増幅盤 (High Power Amplifier) 21324 冷却装置 (Cooling System) 21325 制御盤 (Control Panel)
		21330 伝送系 (Transmission System)	21331 大電力立体回路 (High Power Transmission Line) 21332 導波管 (Wave Guide) 21333 導波管支持架台 (Support Structure of Wave Guide) 21334 冷却加压装置 (Cooling System) 21335 制御盤 (Control Panel)
		21340 結合系 (Launcher System)	21341 高周波加熱結合系 (RF Antenna Coupling System) 21342 結合系駆動装置 (Steering System) 21343 マニホールド (Manifold) 21344 整合装置 (Matching System) 21345 支持架台 (Support Structure) 21346 冷却加熱装置 (Circulation System of Launcher) 21347 大口径ゲートバルブ (Gate Valve) 21348 制御盤 (Control Panel)
		21350 真空排気設備 (Vacuum System)	21351 真空排気系 (Exhaust System) 21352 ベーキング系 (Baking System) 21353 圧空系 (Compressed Air System) 21354 制御盤 (Control System)
		21360 電源設備 (Power Supply)	21361 受電盤 (Receiving Panel) 21362 高圧配電盤 (High Voltage Panel) 21363 低圧配電盤 (Low Voltage Panel) 21364 高圧電源装置 (High Voltage Power Supply) 21365 低圧電源装置 (Low Voltage Power Supply) 21366 冷却装置 (Cooling System) 21367 制御盤 (Control Panel)
		21370 1次冷却設備 (Primary Cooling System)	21371 循環系 (Circulation System) 21372 熱交換器 (Heat Exchanger) 21373 純水製造装置 (Purifier) 21374 制御盤 (Control Panel)



Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		21380 制御設備 (Control System)	21381 中央制御盤 (Central Control Panel) 21382 計算機システム (Computer System) 21383 CAMACシステム (CAMAC System) 21384 保護インターロック盤 (Interlock Panel for Protection) 21385 計測モニター盤 (Monitor Panel) 21386 現場制御盤 (Local Control Panel)
		21390 受配電設備 (Receiving and Distribution System)	
	21400 NBI加熱装置 (NBI Heating System)	21410 イオン源 (Ion Source)	21411 ソースプラズマ発生部 (D <sup>-</sup> Source) 21412 加速管部 (Accelerator)
		21420 イオン源用電源 (Power Supply for Ion Source)	21421 加速電源 (Acceleration Power) 21422 減速電源 (Deceleration Power) 21423 偏向磁石電源 (Deflection Magnet Power) 21424 打消コイル電源 (Steering Magnet Power) 21425 アーク電源 (Arc Power) 21426 フラメント電源 (Filament Power) 21427 イオン源ガス導入系 (Gas Supplying System) 21428 高電位テーブル・ガスクラウド (High Voltage Table・Gas Duct) 21429 制御装置 (Controller)
		21430 ビームライン(1) (Beam Line I)	21431 主排気タンク (Main Exhaust Tank) 21432 クライオポンプ (Cryopump) 21433 中性化槽 (Neutralizer) 21434 打消コイル (Steering Magnet) 21435 偏向磁石 (Deflection Magnet) 21436 カリメータ (Calorimeter) 21437 ビームダンプ (Ion Dump) 21438 ビームリミタ (Beam Limiter) 21439 ビームラインガス導入系 (Gas Supplying System)
		21440 ビームライン(2) (Beam Line II)	21441 イオン源磁気シールド (Magnet Shield) 21442 角度調整機構 (Beam Steering Mechanism) 21443 イオン源ゲートバルブ (Gate Valve) 21444 高速シャッター (Fast Shutter) 21445 接続ヘッダ (Flexible Joint) 21446 ビームモニター (Beam Monitor) 21447 金属シールドト弁 (Metal Sealed Gate Valve) 21448 パイプラックタワー (Piperack Tower) 21449 計測機器 (Diagnostic)
		21450 1次冷却系 (Primary Cooling System)	21451 ビームライン循環系 (Circulation System of Beam Line) 21452 RV循環系 (Circulation System of RV) 21453 ビームラインヘッダ (Beam Line Header) 21454 イオン源ヘッダ (Ion Source Header) 21455 制御装置 (Controller)
		21460 補助真空排気系 (Auxiliary Exhaust System)	21461 主排気タンク排気系 (Exhaust System of Main Exhaust Tank) 21462 TMP背圧ポンプ系 (Exhaust System by

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
					21463	TMP) 荒引きホップ系 (Primary Exhaust System)
					21464	圧空系 (Compressed Air System)
					21465	テスト排気系 (Exhausting Test Line)
					21466	制御装置 (Controller)
			21470	冷媒循環系 (Refrigerant Circulating System)	21471	He圧縮機 (He Compressor)
					21472	He冷凍機 (He Refrigerator)
					21473	液体He配管 (Liquid He Transfer Line)
					21474	ガスHe配管 (Gas He Transfer Line)
					21475	He回収系 (He Recovery System)
					21476	He精製器 (He Purification System)
					21477	Ne貯槽 (Ne Storage Tank)
					21478	Neトランスファーライン (Ne Transfer Line)
					21479	制御装置 (Controller)
			21480	受配電設備 (Receiving and Distribution System)	21481	変動系受配電設備 (Receiving and Distribution System of Fluctuating Load)
					21482	定常系受配電設備 (Receiving and Distribution System of Ordinary Load)
			21490	制御系 (Control System)	21491	NBI操作デスク (Operation Desk of NBI)
					21492	グラフィック盤 (Graphic Panel)
					21493	計算機システム (Computer System)
					21494	CAMACシステム (CAMAC System)
					21495	ビームライン系制御盤 (Control Panel of Beam Line System)
	21500	加熱用発電設備 (Motor Generator for Plasma Heating System)	21510	加熱用発電設備 (Motor Generator for Plasma Heating System)	21511	交流発電機 (Motor Generator)
					21512	フライホイール (Flywheel)
					21513	駆動電動機 (Induction Motor)
					21514	発電機付属装置 (Generator Attachments)
					21515	駆動電動機付属装置 (Motor Attachments)
					21516	励磁装置 (Exciter)
					21517	主回路装置及び開閉装置 (Main Circuit Equipments and Switchboard)
					21518	共通設備 (Common System)
					21519	制御装置 (Controller)

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
30000 建家 (Building)	30100	炉本体棟 (Reactor Building)	30110	炉本体棟建家 (Reactor Building)		
			30120	炉本体付属A設備棟建家 (Building of Reactor Auxiliary Systems A)		
			30130	炉本体付属B設備棟建家 (Building of Reactor Auxiliary Systems B)		
			30140	電気設備 (Electric System)		
			30150	空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	30151 30152 30153 30154 30155 30156	ブロー (Blower) 配管 (Piping) フィルタ (Filter) 加湿器 (Humidifier) 加熱器 (Heater) 冷却器 (Cooler)
			30160	給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)		
			30170	クレーン設備 (Crane System)		
			30180	計測架台 (Instrumentation Rack)		
			30190	エレベータ設備 (Elevator System)		
	30200	制御棟 (Control Building)	30210	建家 (Building)		
			30220	電気設備 (Electric System)		
			30230	空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)		
			30240	給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)		
			30250	エレベータ設備 (Elevator System)		

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	30300 電源棟 (Power Supply Building)	30310 F E R 発電機棟建家 (Generator Building)	
		30320 F E R 整流器棟建家 (Convertor Building)	
		30330 電気設備 (Electric System)	
		30340 空調設備 (Heat, Ventilation, and Air Conditioning System)	
		30350 給排水衛生設備 (Water Supply, Treat- ment and Sanitary System)	
		30360 クレーン設備 (Crane System)	
		30370 F E R トランスポート (Transformer Yard)	
	30400 加熱電源棟 (Generator Build- ing for Plasma Heating System)	30410 建家 (Building)	
		30420 電気設備 (Electric System)	
		30430 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30440 給排水衛生設備 (Water Supply, Treat- ment and Sanitary System)	
		30450 クレーン設備 (Crane System)	
		30460 F E R 加熱電源トランスポート (Transformer Yard of Motor Generator for Plasma Heating System)	
30500 高圧ガス機械棟 (Machine Build- ing for Com- pressed Gas Supply)	30510 建家 (Building)		
	30520 電気設備 (Electric System)		

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		30530 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30540 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		30550 クレーン設備 (Crane System)	
30600	2次冷却ポンプ棟 (Secondary Cooling Pump Building)	30610 建家 (Building)	
		30620 電気設備 (Electric System)	
		30630 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30640 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		30650 クレーン設備 (Crane System)	
		30660 2次冷却ダクト (Secondary Cooling Duct)	
30700	分解・修理棟 (Repair and Maintenance Building)	30710 建家 (Building)	
		30720 電気設備 (Electric System)	
		30730 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30740 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		30750 クレーン設備 (Crane System)	
		30760 エレベーター設備 (Elevator System)	

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		30770 走行台車設備 (Transfer Vehicle System)	
		30780 プール設備 (Pool System)	
	30800 放射性廃棄物処理貯蔵棟 (Radwastes Treatment and Storage Building)	30810 建家 (Building)	
		30820 電気設備 (Electric System)	
		30830 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30840 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		30850 クレーン設備 (Crane System)	
		30860 走行台車設備 (Transfer Vehicle System)	
		30870 プール設備 (Pool System)	
	30900 液化冷凍系棟建家 (Building of He Ref./Liq. System)	30910 建家 (Building)	
		30920 電気設備 (Electric System)	
		30930 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		30940 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		30950 クレーン設備 (Crane System)	
		30960 エレベーター設備 (Elevator System)	
	31000 給水設備棟 (Building of Water Supply System)	31010 建家 (Building)	
		31020 電気設備 (Electric System)	

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		31030 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		31040 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		31050 クレーン設備 (Crane System)	
		31060 エレベータ設備 (Elevator System)	
	31100 排水設備棟 (Building of Water Treatment System)	31110 建家 (Building)	
		31120 電気設備 (Electric System)	
		31130 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		31140 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		31150 クレーン設備 (Crane System)	
		31160 エレベータ設備 (Elevator System)	
	31200 モックアップ試験棟 (Mock-up Test Building)	31210 建家 (Building)	
		31220 電気設備 (Electric System)	
		31230 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		31240 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		31250 クレーン設備 (Crane System)	
		31260 エレベータ設備 (Elevator System)	

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	31300 現地工場棟 (Site Factory Building)	31310 大型PFコイル製作棟建家 (Large PF Coil Fabrication Building)	
		31320 組立棟建家 (Assembly Building)	
		31330 コイル試験棟建家 (Coil Test Building)	
		31340 電気設備 (Electric System)	
		31350 空調設備 (Heat, Ventilation and Air Conditioning System)	
		31360 給排水衛生設備 (Water Supply, Treatment and Sanitary System)	
		31370 クレーン設備 (Crane System)	
		31380 エレベーター設備 (Elevator System)	



Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2		Level 3		Level 4	
40000 土木 (Public Work)	40100	サイト整備 (Site Maintenance)	40110	幹線道路 (Main Street)		
			40120	環境整備 (Environment Maintenance)		
	40200	FER地下ダクト (FER Underground Duct)	40210	FER地下ダクト(炉本体棟回り) (Underground Duct of Reactor Building)		
			40220	FER地下ダクト(電源棟回り) (Underground Duct of Power Supply Building)		
40300	共同溝 (Common Pits)					
50000 各種施設 (Auxiliary Facilities)	50100	エネルギーセンター (Energy Center)	50110	ボイラ施設 (Boiler System)		
			50120	冷水施設 (Chiller System)		
			50130	中央機械室 (Central Machine Room)		
	50200	構内通信設備 (Communication System in Site)	50210	電話交換設備 (Telephone Switch-board System)		
			50220	一斉放送設備 (Simultaneous Information System)		
			50230	警報網設備 (Alarm Network System)		
	50300	給水施設 (Water Supply Facility)				
	50400	排水施設 (Water Treatment Facility)				
50500	放射線管理設備 (Radiation Control System)					

Table 2.2-1 Work break structure for FER (Cont'd)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	50600 放射性廃棄物処理・貯蔵設備 (Radwastes Treatment and Storage System)	50610 トリウム含有廃棄物固化システム (Tritiated Wastes Packaging System)	50611 セメント固化設備 (Cement Solidification System) 50612 アスファルト梱装設備 (Asphalt Packaging System)
		50620 トリウム廃液貯蔵設備 (Tritiated Liquid Storage System)	
		50630 トリウム廃液固化体貯蔵設備 (Tritiated Solid Wastes Storage System)	
		50640 固体廃棄物貯蔵設備 (Radioactive Solid Wastes Storage System)	50641 大型廃棄物貯蔵用プール (Storage Pool for Large Solid Radwastes) 50642 雑小物廃棄物貯蔵設備 (Storage System of Small Solid Radwastes) 50643 プール水冷却設備 (Cooling System of Pool Water)
		50650 処理空気浄化設備 (Effluent Tritium Removal System)	
		50660 排出ガス処理設備 (Effluent Air De-tritiation System)	
		50670 遠隔取扱システム (Remote Handling System)	
		50680 移送システム (Transfer System)	
	50700	現地工場 (Site Factory)	

### 3. サイト・炉本体建家計画

本章では、'86FERのうちACSタイプを対象として、FERプラント建家の配置計画と炉本体建家計画について述べる。

#### 3.1 サイト計画

##### 3.1.1 計画方針

サイト計画の基本となる方針として、当面以下に示す設定を試みた。

- ① 敷地は、現在那珂サイトに想定されている次期装置施設区域（約450m×600m）とする。
- ② 電力は、275kV 常用・予備の2回線受電とする。中央変電所はJT-60のものを増設して使用する。
- ③ 工業用水は、地下埋設型コンクリート製受水槽にて受水する。受水容量はサイト全体として15,000 ton/日程度とする。また、必要に応じて高架水槽を設置する。
- ④ 給水系と排水系は原則として分離する。
- ⑤ 各種エネルギーの供給経路は共同溝方式とし、保守管理しやすく負荷の変動に対応できる計画とする。
- ⑥ スカイシャインを考慮し、炉本体建家は敷地中央付近に配置する。また、スタックも敷地境界から離れた位置とする。
- ⑦ 建設性を考慮し、各建家間は適当な距離をとる。
- ⑧ コンポーネントの製作は、原則として製造者の工場で行ないサイトに運搬するものとし、サイトでの作業は必要最低限に留めるものとする。

##### 3.1.2 プラント建家配置計画

Table 3.1-1に各建家の概略サイズ、Fig. 3.1-1に那珂サイト全体、Fig. 3.1-2にFERサイトの建家配置を示す。

AエリアをFERプラント、Bエリアは現地製作工場等の敷地とする。

Aエリアの北側は、既設の中央変電所に近いことから電力供給施設とし、中央に炉本体建家とスタック、南側に分解・修理建家と廃棄物処理・貯蔵建家を配置する。尚、分解・修理建家と廃棄物処理・貯蔵建家は当初から設置する必要性はなく、前者はD-T燃焼実験初期、後者はそれよりもやや遅れた時期に完成すれば良いと思われる。

制御建家は西側に配置したが、これは西側道路をFERサイトへの主アプローチと設定したことによる。

Bエリアには大型のPFコイル製作、TFコイル組立、大型炉心構造物組立等の建家および試験建家をまとめて配置する。これら施設の検討は11章で行う。

サイト内での物の移送経路としては、製作者工場から運搬された部品は南側と東側から製作・

組立施設に搬入される。これらは、製作・組立・試験後、Aエリアの電力供給施設と炉本体建家の間を通り、炉室に搬入される。炉室南側からは、完成品としてサイトへの運搬が可能なコンポーネント、機器を搬入する。しかし、分解・修理、廃棄物処理・貯蔵建家の建設は後になると予想されるので、組立・試験施設を設けることも可能性はある。

コイル冷凍系設備については、製作・組立後の試験設備と兼用できることが好ましい。しかし、炉本体用の設備とは建設時期のズレがあるので、ヘリウム液化機および液化ヘリウム貯槽は別の位置に設置できるよう配慮し、共用の可能性のある圧縮機等の冷媒用設備建家を、試験建家と炉本体建家の中間に配置した。

尚、計画方針に示したように、各建家、設備は地下の共同溝により結ばれ、配管・配線類が引き廻される。

最後に、'86 ACS と '86 OP. C および '85 FER について、プラント建家規模の概略比較を Table 3.1-1 中に示しておく。

Table 3.1-1 Comparison of building dimension

Building Name	Dimensions; Width × Length ( × Height; from 1FL) [m]		
	'86 ACS Type	'86 OP.C	'85 FER
• Reactor Building Reactor Hall (Internal)	115 × 100 × 48.5 60 × 75 (upper 96)	← ←	120 × 100 60 × 85
• Repair & Maintenance Building	63.5 × 70.5 × 30	70 × 72	70 × 86
• Radwaste Disposal & Storage Building	40 × 56 × 14	←	←
• M.G. Building	{ 25 × 90 × 25 10 × 100 × 12	25 × 105 10 × 110	25 × 75 10 × 110
• Transformer Yard	30 × 100	30 × 110	30 × 120
• Converter Building	30 × 100 × 15	20 × 110	30 × 120
• Converter Building for Plasma Heating	30 × 100 × 15	30 × 110	30 × 120
• Transformer Yard	50 × 100	50 × 110	50 × 120
• Cryogenic Building	{ 60 × 65 × 15 30 × 50 × 15	60 × 50 30 × 40	← ←
• Control Building	50 × 80 × 20	←	←
• Pumps Building for Secondary Cooling	20 × 100 × 10	20 × 120	30 × 80
• Large PF Coil Fabrication Building	45 × 170 × 30	←	not studied ↓
• Assembly Building	45 × 40 × 30	←	
• Coil Test Building	45 × 40 × 30	←	↓

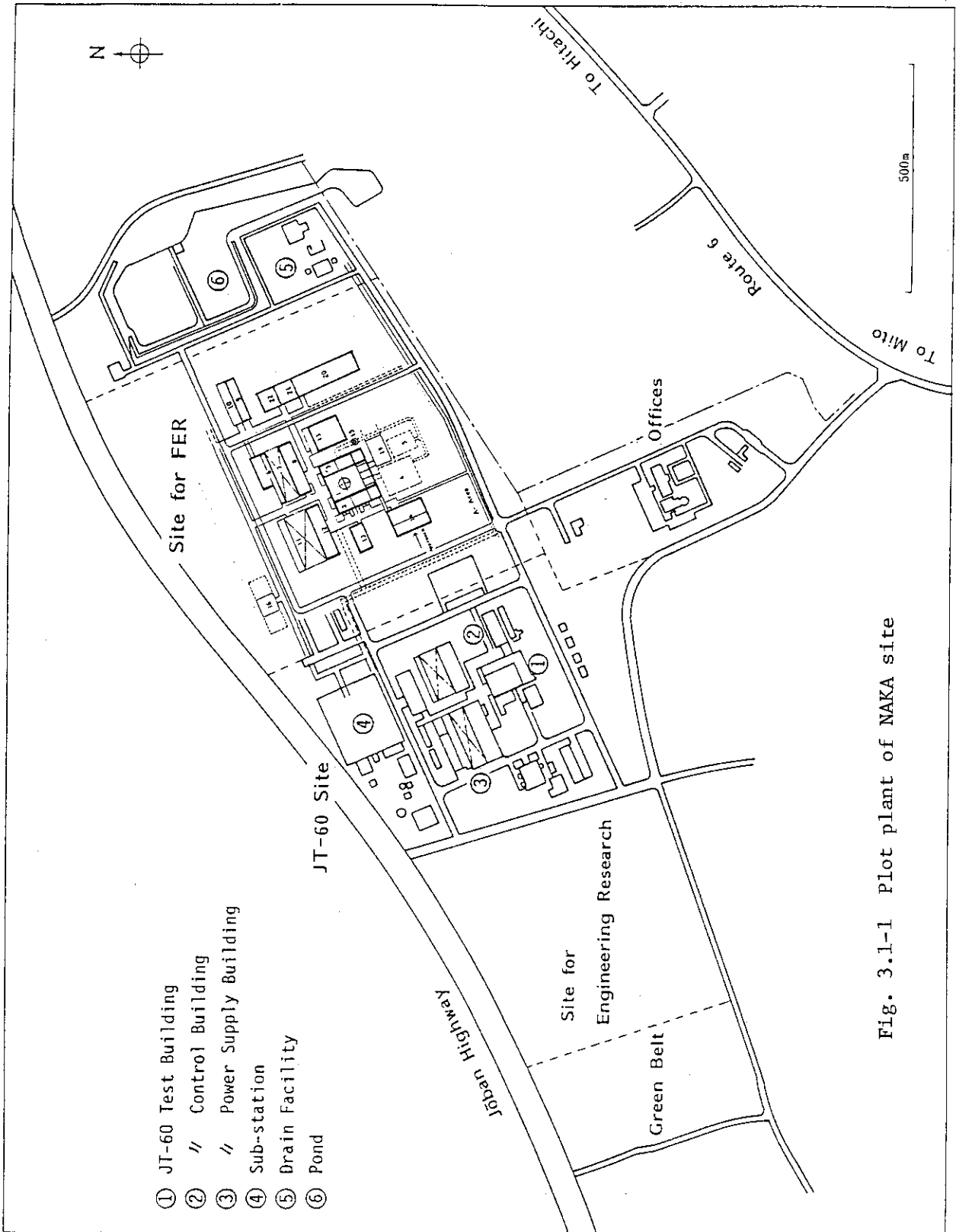
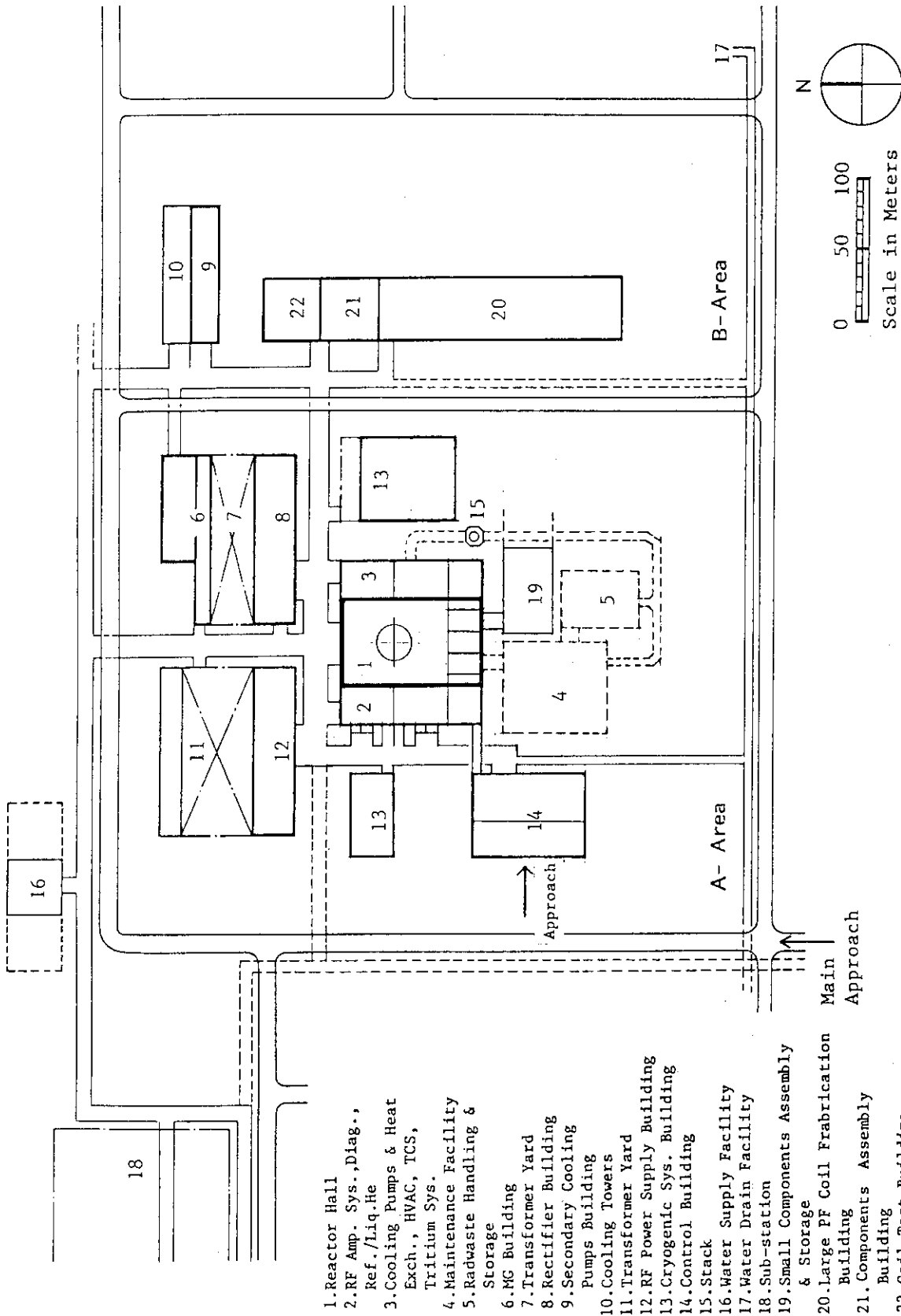


Fig. 3.1-1 Plot plant of NAKA site



- 1. Reactor Hall
- 2. RF Amp. Sys., Diag., Ref./Liq. He
- 3. Cooling Pumps & Heat Exch., HVAC, TCS, Tritium Sys.
- 4. Maintenance Facility
- 5. Radwaste Handling & Storage
- 6. MC Building
- 7. Transformer Yard
- 8. Rectifier Building
- 9. Secondary Cooling Pumps Building
- 10. Cooling Towers
- 11. Transformer Yard
- 12. RF Power Supply Building
- 13. Cryogenic Sys. Building
- 14. Control Building
- 15. Stack
- 16. Water Supply Facility
- 17. Water Drain Facility
- 18. Sub-station
- 19. Small Components Assembly & Storage
- 20. Large PF Coil Frabrication Building
- 21. Components Assembly Building
- 22. Coil Test Building

Fig. 3.1-2 Site plan of the '86FER buildings

( JT-60 Site )

## 3.2 炉本体建家計画

### 3.2.1 検討条件

FERのブロックダイアグラムはFig. 2.1-1に示されているが、炉本体建家の計画上考慮する項目を加味して、プラント全体の関連を表わしたものをFig. 3.2.1-1に示す。

これらは基本的に4つの範疇に分けることが出来るが<sup>30)</sup>、個々の数値および考え方をTable 3.2.1-1に示す。

#### ① 炉室規模を決定するための条件

ここでは炉本体寸法および炉本体周辺装置の種類、数、寸法、それらコンポーネントの分解移動方法等が含まれる。

これらの条件から導かれる炉室平面寸法は、Table 3.2.1-1(1/2)中の図に示すように、炉中心から約36mである。さらに初期組立時のコンポーネント仮置きエリア、炉本体周辺装置の配置等を考慮して炉室サイズが決定される。

#### ② 炉本体建家の配置計画上の条件

これは物の移送と保管、作業者の動線等が含まれる。物の移送としては、炉本体および周辺装置の初期組立時とそれらの分解・修理時がある。前者でクリティカルなものは、最大のPFコイル( $\phi \sim 19\text{m}$ )、TFコイル( $5\text{Wm} \times 8.4\text{Lm} \times 11.6\text{Hm}$ ,  $\sim 320\text{ton}$ : シェアパネル含む)等である。後者では、RFランチャー( $\sim 12\text{Lm}$ )、可動遮蔽+コンテナ( $5.3\text{Wm} \times 12\text{Lm} \times 10\text{Hm}$ ,  $\sim 300\text{ton}$ )等である。炉室との搬入・搬出のための開口部寸法の違いの点からも、両者の経路は分離した方が良いと思われる。

炉本体および周辺装置の分解移動に用いる装置は、なるべく炉室近くに置いておく方が望ましい。炉室内で使用する分解移動装置を、Table 3.2.1-2に示す。尚、分解・修理が完了したコンポーネントは、分解・修理建家内に保管するものとする。

作業者の動線は物の移送経路と分離すべきであり、作業者の動線は③で述べるゾーンと関連して考えられる。それらの考え方をFig. 3.2.1-2に示す。

#### ③ 炉本体建家内およびサイト内外の安全上の条件

まず、高速中性子およびガンマ線の遮蔽の点より、炉室壁の厚さは約1.6m、天井厚さは約1mである。算定の根拠をTable 3.2.1-3に示すが、線量率の基準は、S 61年度と同じである。

雰囲気中の放射性物質(主としてトリチウム)の建家内格納の考え方もS 61年度と同じである。つまり、建家内のエリア(部屋およびその集合)をレッド、アンバー、グリーンの各ゾーンに分け、建家構造体、金属ライナー、塗装等による物理的隔離をする他、HVAC、TCSによるシステムの格納を行う。また、トリチウム・インベントリーが高い機器、配管類もグローブボックス内に収納したり、2重配管としたりすることも必要であろう。

尚、S 60年度の結果をベースとした、炉本体建家に含まれる各サブシステム室(④で述べる)の雰囲気トリチウム濃度の評価例をTable 3.2.1-9に示し、ゾーニング計画の資料とする。

#### ④ 炉本体建家の規模を決定するための条件

トリチウムの格納、電力の伝送ロス等の観点より、炉本体建家には、Table 3.2.1-1に示す



サブシステムを含めるものとする。

それらサブシステムの部屋寸法を決めるに際して必要な主要機器，配管等のサイズをTable 3.2.1-4~8,10に示す。

Table 3.2.1-1 Requirements for the reactor building; '86FER ACS type (1/2)

Requirements		Dimensions
1. Machine size	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reactor diameter, height</li> <li>○ RF device length</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>\phi \sim 22\text{m} \times H \sim 13.5\text{m}</math> (from IFL)</li> <li>○ X (<math>\sim 11\text{m}</math>) from the reactor outer surface; will be decided from layout of the reactor hall basement floor.</li> </ul>
2. Maintenance method	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Torus structure (divertor, movable shield, RF duct) and RF launcher are removed by simple motion (1 module/1 port).</li> <li>○ Divertor trans. machine width, length <math>\phi W 4.5\text{m} \times L 11\text{m}</math></li> </ul>	
<p>* Divertor module is moved by the transfer machine to the back of RF device.</p> <p style="text-align: center;"> <math>\text{Reactor Radius } 10.9 \text{ m}</math>                 <math>\text{RF Device } x(\sim 11) \text{ m}</math>                 <math>\text{Div. Trans. Vehicle } 11 \text{ m}</math>                 <math>\text{Clearance } 2\text{m}</math> </p> <p style="text-align: center;"> <math>\geq (25+x) \text{ m } (\sim 36\text{m})</math> </p>		
3. Component laydown area	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Max. PF coil diameter</li> <li>○ Cryostat dome diameter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>\phi \sim 19\text{m}</math></li> <li>○ <math>\phi \sim 22\text{m}</math> (divided some parts)</li> </ul>
4. Machine layout	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ RF device; IC 1, LH 1(2), EC 1</li> <li>○ Blanket test module; 4 (3) ports</li> <li>○ Diagnostics; 2 ports</li> <li>○ Inspection; 2 ports</li> <li>○ Fuel injector; 1 port</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>} No special requirements for layout.</li> <li>○ apart <math>90^\circ</math> each other</li> <li>○ apart <math>180^\circ</math> each other</li> <li>○ depends on subsystem rooms layout</li> </ul>

Table 3.2.1-1 Requirements for the reactor building; '86FER ACS type (2/2)

	Requirements	Dimensions
②	<p>5. Transfer compo. size, weight</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ at initial construction                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ TF coil + share pannel</li> <li>○ V/V + exhaust duct shield</li> <li>○ Max. PF coil</li> </ul> </li> <li>○ at maintenance                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ RF launcher</li> <li>○ Movable shield + Container</li> <li>○ Maintenance machine</li> </ul> </li> <li>○ changing room</li> </ul> <p>Personnel access route</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Route; two ways</li> <li>○ W 5m × L 8.4m × H 11.6m (240+77) ton/module</li> <li>○ W 6m × L 10.5m × H 14m 340 ton/unit</li> <li>○ φ ~ 19m, 238 ton (can be deviced)</li> <li>○ W 2.3m × L 10m × H 3.2m</li> <li>○ W 5.3m × L 12m × H 10m 265+46 = 311 ton/module</li> <li>○ See Table 3.2.1-2</li> <li>○ See Fig. 3.2.1-2</li> </ul>
③	<p>6. Safety</p> <p>(1) Dose rate</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ≤ 30 mrem/week (outside the reactor hall)</li> <li>○ ≤ 5 mrem/year (at the site boundary)</li> </ul> <p>(2) Tritium containment zoning definition;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Red zone; Probability of tritium leakage. Personnel should not access in the rooms during operation.</li> <li>○ Amber / ; Low probability of tritium leakage. Personnel shall be limited access in the rooms during operation.</li> <li>○ Green / ; Very low probability of tritium leakage. Personnel are able to access in the rooms during operation.</li> </ul> <p>(3) Reactor hall pressure</p>	<p>(See Table 3.2.1-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wall thickness; ~ 1.6m (ordinary concrete) with the movable shield withdrawn for maintenance 1 day after reactor shutdown.</li> <li>○ Roof thickness; ~ 0.95m (ordinary concrete) assumed to be 200m far from the plasma center to the site boundary.</li> <li>○ Max. 0.3 atm increase, assuming total coils Liq. He evaporated. (evaluated in FY'85)</li> </ul>
④	<p>7. Subsystems</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Primary cooling sys. (IHX, pump)</li> <li>○ Baking sys.</li> <li>○ Tritium processing sys.</li> <li>○ Test module cooling sys.</li> <li>○ Fuel injection sys.</li> <li>○ RF amplifier sys.</li> <li>○ Diagnostics sys.</li> <li>○ Maintenance control sys.</li> <li>○ HVAC, TCS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ see Table 3.2.1-4</li> <li>○ see Table 3.2.1-5</li> <li>○ see Table 3.2.1-6</li> <li>○ see Table 3.2.1-7</li> <li>○ W 14m × L 14m</li> <li>○ see Table 3.2.1-8</li> </ul>

Table 3.2.1-2 Requirements for the maintenance vehicle storage area

Main Vehicle	Dimensions (m)	Weights (ton)
○ Divertor		
• Transfer Cart	$4.6^W \times 11^L \times 1^H$	35
• Container	$4.6^W \times 10^L \times 2.5^H$	25
○ Movable Shield		
• Container + • Transfer Unit	$5.3^W \times 8.7^L \times 10^H$ $12^L$	} 100
○ Test Module		
• Telescopic Jack	$\sim 1.2^H$	} 50
• Transfer Deck	$3.5^W \times 10^L \times 3.5^H$	
○ In-Vessel Inspection Vehicle	$5.8^W \times 17^L \times 8.7^H$	50
○ RF Launcher		
• Transfer Deck	$3^W \times 7^L \times 3.5^H$ $6^W \times 10^L \times 3.5^H$	TBD

Table 3.2.1-3 Comparison of the required roof thickness for skyshine

	'85 FER	'86 FER
○ Average Wall Load	0.68 MW/m <sup>2</sup>	~1 MW/m <sup>2</sup>
○ Roof Thickness (ordinary Concrete)		
① 1/20 of D.S.	~82 cm <sup>*2</sup>	~120 cm <sup>*2</sup>
② Design Standard <sup>*1</sup>	~56 cm <sup>*2</sup>	~94 cm <sup>*2</sup>
<p>*1 Design Standard: Maximum year dose rate at (the outside of) the site boundary <math>\leq 5</math> mrem/y (Distance from plasma axis to the site boundary; ~200 m)</p> <p>*2 Thickness of materials required to reduce to one tenth the fluxes of 14 MeV neutrons; ordinary concrete ~21.5 cm</p> <p>*3 Reference for dimension and material comparison of the upper shield of '84 FER and '85 FER; JAERI-M 86-134, Table 9.5-1.</p>		

Table 3.2.1-4 Required area for primary cooling system

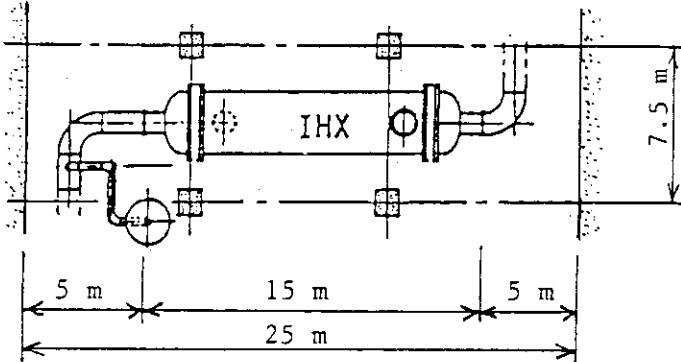
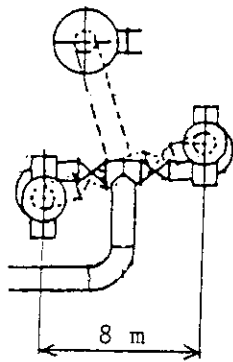
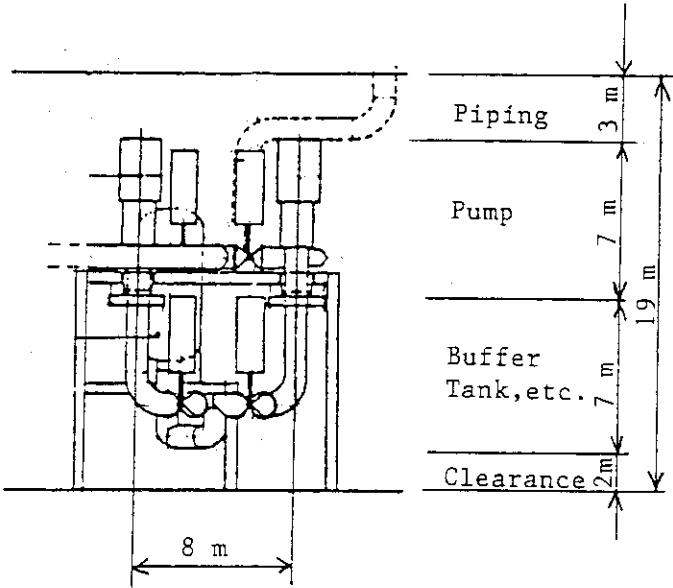
Equipments	Layout and Required Area								
<p>• Intermediate Heat Exchanger</p> <table border="1" data-bbox="236 517 483 714"> <thead> <tr> <th>(Loop)</th> <th>(Set)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>Total 6</p>	(Loop)	(Set)	A	2	B	3	C	1	 <p style="text-align: center;">Configuration of one loop</p>
(Loop)	(Set)								
A	2								
B	3								
C	1								
<p>• Pump Buffer Tank</p> <table border="1" data-bbox="236 970 539 1152"> <thead> <tr> <th>(Loop)</th> <th>(Set)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1 + 1 (back-up)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>3 + 3 ( " )</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1 + 1 ( " )</td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>Total 10</p>	(Loop)	(Set)	A	1 + 1 (back-up)	B	3 + 3 ( " )	C	1 + 1 ( " )	 <p style="text-align: right;">Horizontal View</p>
(Loop)	(Set)								
A	1 + 1 (back-up)								
B	3 + 3 ( " )								
C	1 + 1 ( " )								
	 <p style="text-align: right;">Vertical View</p>								

Table 3.2.1-5 Requirements for baking system area

Baking system	• Supply Heat • Flow Rate	Baking Heater Size (m)	Number
A	{ 2.26 MW (48 hr) 2,600 m <sup>3</sup> /hr	$\phi 1.5 \times 3^L$	1
B	{ 6.76 MW (48 hr) 8,000 m <sup>3</sup> /hr	$\phi 1.7 \times 3^L$	1
C	{ 0.98 MW (48 hr) 1,400 m <sup>3</sup> /hr	$\phi 1.2 \times 3^L$	1

Table 3.2.1-6 Requirements for tritium processing area

Equipments	Dimensions (m)	Number
○ Fuel Gas Circuration System (enclosed Glove Box)	Max. $\sim 3.2^W \times 12.2^L \times 5.8^H$	
• Isotope Separation Cryostat ( " )	$3.2^W \times 3.2^L \times 5.8^H$	1
• Another equipments ( " )	$1.5^W \times 9^L \times 3.2^H$	1
○ Glove Box TCS Unit	$2.7^W \times 5^L \times 2.3^H$	1
○ Gaseous Waste Storage Tank	$\phi 5 \times 6^H$	2
○ Liquid Waste Storage Tank	$\phi 5 \times 6^H$	2

Table 3.2.1-7 Requirements for the test module cooling system area

Equipments	Dimensions (mm)	Number
1. Low Temperature T/M B (He-cooled)		
① He Loop		
• Heater for Tritium Regeneration (0.5 MW)	$\phi 900 \times 2,700^H$	1
• Cooler (2.7 MW)	$\phi 1,300 \times 5,700^H$	1
• Circulator (0.3 MW)	$\phi 1,000 \times 2,000^H$	1
② Mock-up Unit		
• Dump Tank	$\phi 1,200 \times 6,200^L$	1
③ Purification Unit		
• Catalytic Oxidizer	$\phi 300 \times 1,500^H$	1
• Cooler	$\phi 500 \times 2,000^H$	1
• Molecularsieves Bed	$\phi 700 \times 2,500^H$	2
• Cold Trap	$\phi 1,000 \times 3,700^H$	2
2. High Temperature T/M B (H <sub>2</sub> O-cooled)		
① H <sub>2</sub> O Loop		
• Heater for Dwell Time	$\phi 800 \times 2,800^H$	1
• Cooler (1.8 MW)	$\phi 700 \times 4,000^H$	1
• Pressurizer	$\phi 600 \times 2,000^H$	1
② Purification Unit		
• Deaerator	} $3,000^W \times 3,000^L \times 3,000^H$	1
• Pump		
• Filter		
• Demineralizer		
• Tank		



Table 3.2.1-8 Required area for RF amplifier system

	ICRF (Main Heating)		LHRF (Current Drive)		ECRF (Auxiliary Heating)	
	'85 FER	'86 FER ACS	'85	'86 ACS	'85	'86 ACS
RF Amplifier System Configuration for one RF Device	<p>(RF Power Supply Building)</p> <p>(Primary Cooling Sys.) (SF<sub>6</sub> Gas) (Cooling Sys.)</p>		<p>(RF Power Supply Building)</p> <p>(Primary Cooling Sys.) (SF<sub>6</sub> Gas) (Cooling Sys.)</p>		<p>(RF Power Supply Building)</p>	
Injection power	50 MW	20 MW	10 MW	20 MW	10 MW	3 MW
RF Device Number	4	1	1	1 (2)	1	1
'85 FER ACS RF Amplifier System Configuration	(*1) It is assumed that the antenna power density will be increased in near future.				Modular/Regulator Gyrotron Transmission Line	
Rough Area of RF Amplifier System	~2,100 m <sup>2</sup> × 2 Floors (25m × 85m)	25 <sup>W</sup> m × 40 <sup>L</sup> m	~1,500 m <sup>2</sup> (25m × 60m)	25 <sup>W</sup> m × 120 <sup>L</sup> m	~2,100 m <sup>2</sup> (25m × 85m)	25 <sup>W</sup> m × 40 <sup>L</sup> m

Table 3.2.1-9 Room's condition in the reactor building (1/2)

Condition Main Rooms	Dose Rate Estimation Design Criteria [mrem/hr]	Tritium Release Rate [ci/day] T-permissible Concent. [ci/m <sup>3</sup> ]			Zone
		Normal Ope.	Maintenance	Accident	
1. Reactor Hall					
•1st Floor	$\frac{< 0.1}{2.5}$ [1 day after shutdown]	$\frac{0.6}{2 \times 10^6}$	←	$\frac{24 \times 10^4}{2 \times 10^6}$	Red
•B1F		$\frac{0.6}{2 \times 10^6}$	←	$\frac{4 \times 10^4}{2 \times 10^6}$	Red
•B2F		*1 $\frac{(8 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green
2. IHXs	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{0.6}{2 \times 10^{-6}}$	←	$\frac{4 \times 10^4}{2 \times 10^{-6}}$	Red
3. Pumps	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	$\frac{0.6}{2 \times 10^{-6}}$	←	$\frac{4 \times 10^4}{2 \times 10^{-6}}$	Red
4. Tritium Processing sys.	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	$\frac{6 \times 10^{-3}}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Amber
5. Fuel Injector	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	TBD	TBD	TBD	Amber
6. T/M cooling sys.	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	TBD	TBD	TBD	Amber
7. HVAC (Red)	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(7 \times 10^{-3})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Amber
" (Amber)	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(5 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Amber
" (Green)	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(7 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green

\*1 : (x) is release rate from HVAC duct.

Table 3.2.1-9 Room's condition in the reactor building (2/2)

Condition Main Rooms	Dose Rate Estimation Design Criteria [mrem/hr]	Tritium Release Rate [ci/day] T-permissible Concent. [ci/m <sup>3</sup> ]			Zone
		Normal Ope.	Maintenance	Accident	
8. TCS	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}}$	←	←	Amber
9. Baking System	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	$\frac{0}{2 \times 10^{-6}}$	$\frac{0.6}{2 \times 10^{-6}}$	$\frac{4 \times 10^4}{2 \times 10^{-6}}$	Red
10. RF Amplifier system (IC, LH, EC)	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{*1 (< 6 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green
11. Maintenance Control System	$\frac{10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(3 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green
12. Diagnostics	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(3 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green
13. Electrical Equip. for Building	$\frac{< 10^{-8}}{0.18}$	$\frac{(1 \times 10^{-4})}{0.2 \times 10^{-6}}$	←	←	Green

\*1 : (x) is release rate from HVAC duct.

Table 3.2.1-10 Parameters of pipes and equipments at reactor hall basement floors

Floor	Pipe or Equipment	Dimensions (based on '85 FER)	
		Size (Width × Length × Height)	Number
B1F	○ Vacuum Pump		
	• cryo-pump	1.2m × 1.5m × 1.7m	2 sets/port × 12 ports
	• cryo-pump box	3.5m × 3m × 2.5m	1 box/2 sets × 12 ports
	• turbo molecular p. magnetic shield	1.2m × 1.2m × 1.5m	1 set/port × 12 ports
	• spiral booster pump box	2.2m × 2.2m × 3.35m	1 set/port × 12 ports
	○ RF Wave Guide		
	• ICRF (1 unit)	310 φ/line	4 lines/unit
	• ; main heating	support case section ; 1.2 <sup>W</sup> m × 1.2 <sup>H</sup> m	
	• Stab tuner	outline ; 0.9m × 6m × 2.2m	3 sets
	• LHRF (1 or 2 units)	1.3 <sup>W</sup> m × 1.8 <sup>H</sup> m (total)	32 lines/unit
• ; current drive	support case section ; 1.6 <sup>W</sup> m × 2.1 <sup>W</sup> m		
• ECRF (1 unit)	1.2 <sup>W</sup> m × 0.75 <sup>H</sup> m (total)	40 lines	
• ; auxiliary heating	support case, SF <sub>6</sub> gas line, etc. ; 2 <sup>W</sup> m × 1.5 <sup>H</sup> m		
○ SF <sub>6</sub> equipment	3m × (4 + 1.5)m × 2m	2(3) sets (for { ICRF 1 LHRF 1 or 2 })	
○ Primary Cooling Line	• Main Lines 500A ~ 1,200A	{ inlet : 6 lines outlet : 6 lines	
	• access ports; 250A	" 16 lines	
	350A	" 8 lines	
	500A	" 24 lines	
○ Active Coil Power Lead			
B2F	○ Coil Power Lead	{ • φ1.3m (to bus box) • 300 × 400 (from " )	TFC ; 4 lines PFC ; 13 lines
	○ Bus Box	1.5m × 2m × 4m	17 units
	○ Cryogenic Line		
	• initial cooling (return)	450A	1
	• low pressure He ( " )	500A	1
	• high pressure He(supply)	250A	1
	• GN <sub>2</sub> line	300A	1
	• LN <sub>2</sub> line	150A	1
	etc.		
	↓ Total Duct Section	1.4m × 1.8m	
○ SHE Heat Exch.	φ2m × 4m <sup>H</sup>	6	
○ Cooling Gas Distributing Vessel	φ2m × 4m <sup>H</sup>	1	
○ Return Gas Gathering Vessel	φ1.5m × 3m <sup>H</sup>	1	
○ Cryogenic Recovery Buffer Tank	φ2m × 4m <sup>H</sup>	1	





### 3.2.2 基本検討

61年度炉本体建家の設計検討に際し考慮した主要項目について概要を記す。

#### (1) 炉本体ポート配置と炉室寸法

3.2.1の①で述べたように、炉室の平面寸法は少なくとも炉中心より約36m(RF装置+ダイバータ引抜き装置)必要である。しかし、この寸法は炉本体周囲すべてに必要なわけではなく、RF装置の数が3(及至4)で配置上の制約も特にないことから、炉室の建家構造上からも短辺をなるべく小さくするように配置する。<sup>(\*)</sup>真空容器内点検装置も長さが大きいので同様の考慮をする。

燃料注入装置の配置については、炉室内に置くか、炉室壁外側のサブシステム室に置くかの問題がある。炉室内に置く場合、装置サイズが大きく(S60年度の検討では約 $14\text{ W}_m \times 14\text{ L}_m$ )、ダイバータ引き抜き時にはRF装置よりも距離が必要である。また可動遮蔽体引き抜き時には、ホットな設備である燃料注入装置をその都度(分解・)移動する必要がある。炉本体の分解・修理作業への影響も多分にある。従って、燃料注入装置はサブシステム室に置くものとする。

以上の項目とポート配置上の制約(計測2ポート:  $90^\circ$ 、点検2ポート:  $180^\circ$ )を考慮した炉本体ポート配置を、Table 3.2.2-1とFig. 3.2.2-1に示す。

炉室の平面寸法は、初期組立時に必要な大型コンポーネント仮置きエリアを考慮し、多少余裕を見込んで幅60m×長さ75mとする。

#### (2) 機器搬入・搬出経路および方式

初期組立時の炉室へのコンポーネント搬入は、炉室1階の壁開口より行う。最大のPFコイル( $\phi 19\text{ m}$ )は縦に搬入することを想定し、その他の大型構造物(TFコイル、真空容器……幅最大約6m)もこの開口部より搬入する。従って壁の開口寸法は余裕を見込んで、約 $10\text{ W}_m \times 25\text{ H}_m$ とする。尚、開口部は組立完了後は簡易的に塞ぎ、機能試験で装置の健全性が確認された後はコンクリートで塞ぐものとする。上記以外の比較的小型のコンポーネントについては、組立時の作業性の向上も考慮して、別の経路も計画するものとする。

分解・修理時における専用建家へのコンポーネント移送は、今のところ信頼性が高いレール走行型の台車で行う。移送レベルは、S60年度は炉室床と分解・修理室床のハッチを介して地下通路で行う方式であったが、本年度は1階床レベルとした。理由としては、地下通路の場合、炉室に地下2階分の吹抜け空間が出来て建家構造上好ましくないこと、炉室地下の配管類引き廻しの障害となること、等である。尚、移送エリアは分解移動装置保管エリアとまとめて炉室近くに設け、エアロックも計画出来るようにする。

#### (3) 炉本体建家ブロックプラン

3.2.1の④で述べた炉本体建家に含めるサブシステムの専有面積は、合計約 $20,000\text{ m}^2$ (Table 3.2.1-1中④のサブシステム室のみ)である。またサブシステム室の幅は約25m(1次冷却系IHXの条件より)である。

これらの条件、炉室サイズ、物の移送経路、3.1サイト計画で述べたプラント建家配置を考

(\*) 炉室形状の選択については、JAERI - M 86-149, p 163~168 参照。

慮して、Fig. 3.2.2-2に示すブロックプランを設定した。<sup>30)</sup>

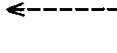
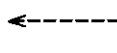

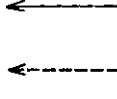
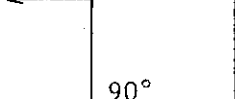
炉室をはさんで西側をグリーンゾーン、東側をアンバーとレッドゾーンとしてまとめ、南側はコンポーネント移送および分解移動装置保管エリアとした。初期組立時の炉室への大型コンポーネントの搬入は、北側炉室壁より行う。

電源供給、2次冷却、コイル冷凍および制御等の配管、配線ラインは、地下ダクトを通して炉本体建家と結ばれ、炉本体建家内でも必要に応じて縦ダクトを用いるものとする。

炉本体建家外形寸法は約115 W m × 100 L m (建家の壁厚含む)である。



Table 3.2.2-1 Dedicated torus sectors

Port No.	Component	Note		
1	ICRF Device			
2	LHRF Device			
3	Test Module			laid out with the longer axis of the reactor hall.
4	T/M			
5	Fuel Injection			
6	In-Vessel Inspection			
7	T/M (LHRF)			
8	Diagnostics			
9	ECRF Device			
10	T/M			
11	Diagnostics			
12	In-Vessel Inspection			
see Fig. 3.2.2-1	<p>It's assumed that left side of the reactor hall is green zone and the right side is red &amp; amber zone.</p> <p>This is related with block plan of the reactor building.</p>			

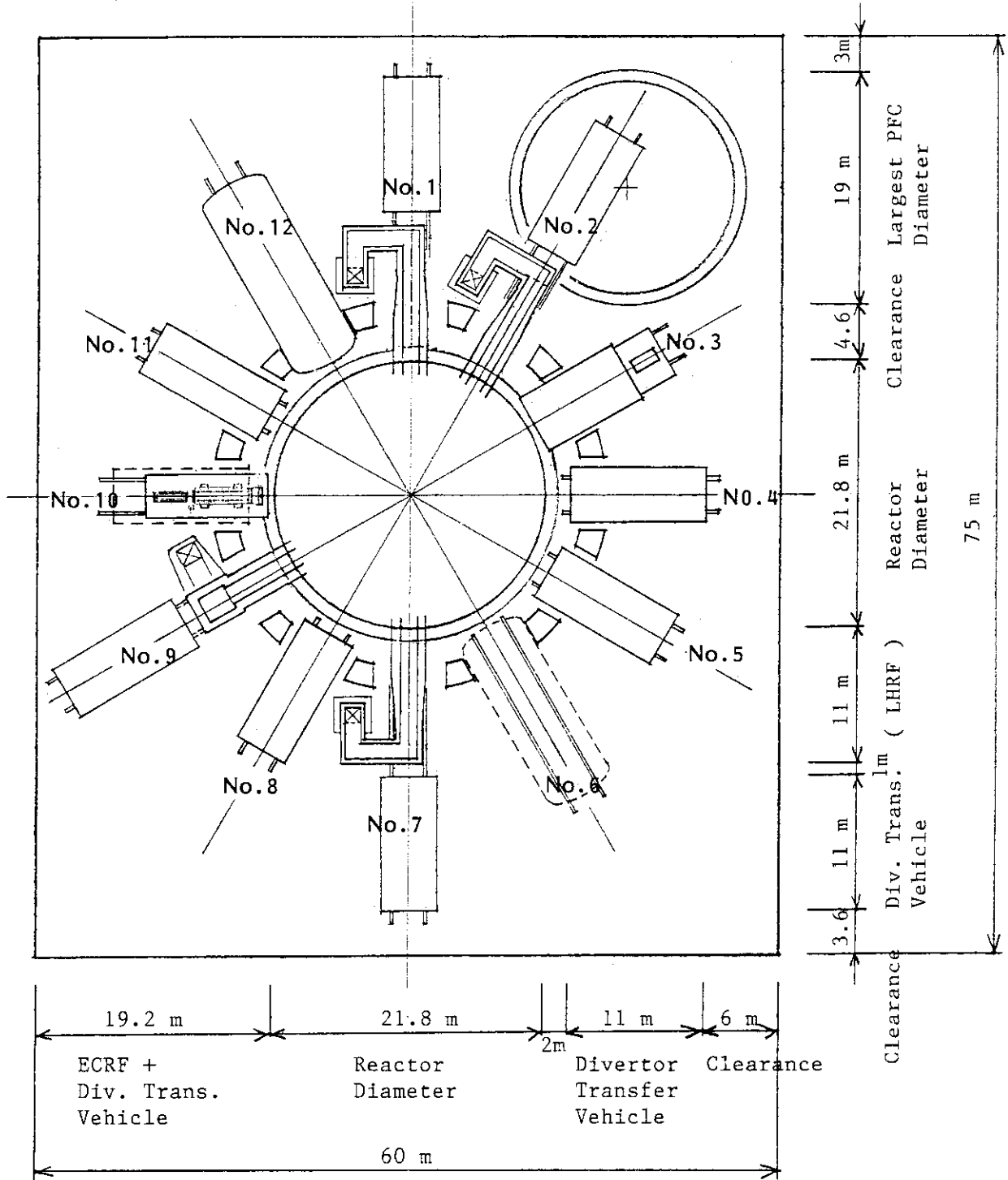


Fig. 3.2.2-1 Ports layout and reactor hall dimension



### 3.2.3 炉本体建家配置計画

炉本体建家の配置計画について、その要点を記す。

#### (1) コンポーネント移送および分解移動装置保管エリア

3.2.2の(2)と(3)で述べたように、これらのエリアは炉室南側に配置し、移送レベルは地上1階床レベルとする。平面図と断面図をFig. 3.2.3-1と2に示す。

初期組立時の搬入エリア、分解・修理時の搬出・搬入エリアのスペースは、ともに可動遮蔽体の分解移動装置（コンテナを含む）の寸法（ $5.3 W_m \times 12 L_m \times 10 H_m$ ）より決まる。初期組立時の搬入エリアの斜線部は、組立が完了し装置の健全性が確認された後はコンクリートで塞ぎ、上部はハッチを設けて可動遮蔽体の分解移動装置の保管（除染後）スペースとする。分解・修理時の搬出・搬入スペースの上部もハッチであり、ともに有効開口 $6 W_m \times 13 L_m$ である。

ダイバータ分解移動装置（コンテナ含む）は、交換頻度、個数が比較的多いことから、2台の保管スペースを設けるが、出し入れは上下のスライディングドアを介して床上のレールで行う。上部にはテストモジュール分解移動装置1台等の保管スペースを設ける。

尚、コンポーネントの移送は、移送エリアと他の建家間はレール走行型の台車で行うが、移送エリアと炉室内は天井走行クレーンで行う。

#### (2) 作業員動線計画

Fig. 3.2.1-2に作業員の動線の考え方について示したが、まず第1に物の（特に放射化物質）の移送経路と分離する必要がある。第2は、作業員は各ゾーンにアクセスする場合、必ず各ゾーン用の更衣室を通ることが必要であり、同じゾーン用の更衣室はなるべくまとめて管理が容易であることが望まれる。

炉本体建家内の作業員動線計画をFig. 3.2.3-3に示す。

炉本体建家へのアクセスは、制御棟とつながる廊下を通り地上1階から行う。炉本体建家内入口近くにはグリーン・ゾーン用更衣室があり、作業員はここで着替えてグリーン・ゾーン各室にアクセスする。尚、異なる階の移動は図中斜線部の階段、エレベータで行う。

アンバー／レッド・ゾーンへのアクセスは、まず炉室1階と地下1階については、グリーン・ゾーン1階の更衣室を通過して行うが、非常時の避難を考えて別の経路も設けた。アンバー・ゾーンのサブシステム室へは、地下1階の更衣室を通過してアクセスする。レッド・ゾーンのサブシステム室へのアクセスは、ある階（スペース上および地下1～2階の1次冷却系ポンプ室は吹抜けであることから、地上1階が適当と思われる。具体的には(4)の建家配置計画で検討する。）のレッド・ゾーン手前の更衣室を通過して行い、上下階の同じゾーンには室内の階段を使ってアクセスするものとした。

#### (3) 炉室地下の構成

炉室地下はTable 3.2.1-10に示した機器および配管類のスペースとする。平面内法はFig. 3.2.2-1の1階と同じであり、炉本体下部および周囲はトラス系とTFコイル系を支持する建家構造が必要である。

炉室地下の構成を検討するに際して考慮する項目とそれらの関係をFig. 3.2.3-4に示す。考慮する項目としては、地下1階はホットとコールドな配管が混在すること、炉本体（特にト

ーラス系)に加わる水平力の支持, RF 導波管および冷却管が1階床に立ち上がる位置の取合い, 真空排気ポンプのメンテナンス時のアクセス, コイルパワーリードの炉本体への経路等である。

炉室地下の構成の部分垂直断面をFig. 3.2.3-5に, 部分平面をFig. 3.2.3-6に, 地下1階の全体平面をFig. 3.2.3-7に示す。

炉本体周囲には水平力を支持する建家円筒壁を設けているが, 両者は真空容器下部(プラットフォーム)が円筒壁まで延びて結びついている。

コイルパワーリードの経路としては, 炉本体下部の地下2階から(Fig. 3.2.3-4中の①)と地下1階のベルジャー側面から(同図中②)が考えられる。②の経路の場合は真空排気ポンプおよび冷却配管とRF 導波管立上り部との空間取合いが厳しい。従ってコイルパワーリードはコールドな配管でもあるので, 地下2階を設けて専用スペースとし, ベルジャー内へ至る経路は炉本体下部の支持構造間とした。尚, パワーリードは炉本体周囲の円筒壁外側の接続端子盤までは空冷の為 $\phi$  1.3 mであるが, それ以降は水冷の平行ブス(約0.3 m $\times$  0.4 m)とする。

RF 導波管の経路は, 炉室1階に炉心コンポーネントの分解移動の為のフリーな空間を確保するために地階を考える。経路としては, '85 FERと同様各階増幅室 $\rightarrow$ 縦ダクト $\rightarrow$ 炉室地下1階 $\rightarrow$ 炉室1階RF装置とするが, 炉室地下1階はホットな真空排気と排気ガス回収管, テストモジュール冷却管および1次冷却系配管があるので, 気密性能を有するダクト内を引き廻すこととする。(RF 導波管は, 出来れば建家壁で物理的に隔離された空間内を引き廻すことが望ましく, 炉室地下に置かれる機器および配管類がより具体的になった段階で, 建家構造との関係で検討する必要がある。

1次冷却系配管は, TF コイル後部の炉本体周囲円筒壁外側の1階床部分に立ち上がる。その床開口幅は, 可動遮蔽体引き抜き時に必要なアクセスポート部の幅(5.5 m $\sim$  6 m)によって切り取られる寸法である。また, 太径の配管およびヘッダーは, 基本的にFig. 3.2.3-7に示す斜線部を引き廻し, RF 導波管と交叉する部分は, Fig. 3.2.3-5に示すように上部をRF 導波管, 下部を細径の冷却配管とする。

真空排気ポンプは, クライオ, ターボ分子, スパイラル・ブースタともに炉本体周囲の円筒壁外側に配置する。メンテナンス用に炉室1階床にハッチ(有効開口寸法; 最低約3 W m $\times$  5 L m)を設けることが望ましいが, ハッチにかかる分解移動コンポーネントの荷重を支える構造物を地下1階に設けると冷却配管(およびRF 導波管)との空間取合いが厳しく, また炉本体周囲円筒壁と1階床をつなぐ建家構造が弱くなる。これらの点については, 真空排気システムの方法等と合わせて今後検討が必要である。

最後に建家の構造形式について触れる。先に述べたように炉室地下1階の炉本体まわりには, 真空排気ポンプや各種配管が集中しており, なるべくフリーな空間を確保する必要がある。従ってFig. 3.2.3-7に示すように, 円筒壁周囲のアクセスドア後部の床は放射状の梁配筋とし, 炉室周囲の柱-梁配筋と結ぶ形式とした。

#### (4) 炉本建家配置計画

(1) $\sim$ (3)の検討およびFig. 3.2.2-2のブロックプランに基づき, 炉本体建家の配置計画を行った。Fig. 3.2.3-8に各階平面図を, Fig. 3.2.3-9に垂直断面図を示す。

炉室をはさんで西側がグリーン・ゾーン、東側がアンバーとレッド・ゾーンとしてまとめ、炉室1階、地下1階はレッド・ゾーン、地下2階はグリーン・ゾーンである。

RF増幅系の機器は、電送ロスの点で制約が大きいECRF系を地下1階(L2)に置き、LHRF系を地下1階と地上1階(L1)および2階、ICRF系を3階(L1)に配置した。外部からの電力供給は、西側建家壁に設けられた縦ダクトを通して各増幅室に至る。導波管/同軸管は、炉室側の壁に設けられた縦ダクトを通して、炉室地下1階より各RF装置に至る。炉室地下1階はレッド・ゾーン、RF増幅室-縦ダクトはグリーン・ゾーンなので、導波管/同軸管が炉室地下1階の壁を貫通する部分には、気密性能が要求される。

その他西側のグリーン・ゾーンには、地下2階に計測関係室および液化ヘリウム供給ラインと炉本体の運転・制御ラインのトンネル、3階L2に炉室内での分解移動作業のコントロール室、4階にグリーン・ゾーン用HVACを配置した。

また1階L2には、作業者が炉室に立ち入る場合の更衣室と放射線管理室を設け、一括して管理できるようにした。地下1階への通行は炉室内の階段で行うが、地下1階の更衣室(2)も必要に応じて使える。尚、作業者動線計画については(2)を参照のこと。

1次冷却系は、地下1～2階(R1)に縦置きポンプおよびバッファータンク、1階と2階(R1)に横置き中間熱交換器を配置した。炉本体への冷却配管は、炉室地下1階を引き廻し、ヘッダーより炉室1階の炉本体等の被冷却体に至る。2次冷却系配管は、地下1階より縦ダクトで1、2階の中間熱交換器室に至る。

トリチウム処理系は地下2階(R2)とし、燃料ガス循環システムはグローブ・ボックスに収めるものとする。

テストモジュール冷却系は地下1階(R2)とし、低温T/M用のヘリウム冷却設備と高温T/M用のヘリウム冷却設備と高温T/M用水冷却設備を想定する。

燃料注入系は1階(R2)に置くが、S60年度のシステム検討では平面寸法が約14m×14mであり、その内グローブ・ボックス部分は約8.5m×14mである。建家構造体である柱配置との調整とともに、燃料ガス循環系、貯蔵系、テストモジュール・トリチウム回収系との関係さらに配置について今後さらに検討をしていく必要がある。

TCSは2階(R2)、レッドとアンバー・ゾーン用HVACは3階(排気)と4階(給気)に配置した。これらの設計については7章で述べる。

炉室南側の移送・保管エリアの地下1階は、アンバー・ゾーン用更衣室とベーキング用ヒータ室、地下2階は建家用電源設備室と非常用発電機室である。

### 3.2.4 今後の検討課題

以上当面の配置計画を試みたが、今後更に以下の検討が必要である。

- ① レッドとアンバー・ゾーン用HVACはOnce-through方式であるが、1次冷却系各室をレッド・ゾーンとしているので専有面積が大きくなっている。安全性との関係もあるが、専有面積を減らすような換気・空調方式の検討が更に望まれる。
- ② 1次冷却系の各設備(IHX, ポンプ等)室や炉室地下1階の配管は系統が多く、専有空間の減少という意味からも、簡素化(特に被冷却体の入口/出口温度差を高く取ることの可能

性の検討に基づいて)が望まれる。

- ③ RF増幅系諸室は、サブシステムのグリーン・ゾーンの約半分の面積を占めている。伝送ロスの問題もあるが、炉本体建家のコンパクト化の為にトリチウム格納を考慮(アニュラスを設ける等)して別建家とすることも今後検討してみる必要がある。
- ④ 1次冷却系機器(IHX, ポンプ, バッハータンク等)の配置は'85 FER とほぼ同じとしたが、配管スペースを考えるとやや狭い。また、重量物である IHX は1階と2階に配置したが、1階とした方が搬入上容易と考えられる。③で述べたように、RF増幅系室を別建家と出来れば、上記問題を解決する方向でプラント全体の配置と関連して検討してみることも必要であろう。
- ⑤ 炉本体周囲地下の機器(特に真空排気ポンプ), 配管類の空間的取合いは厳しく、サイズの縮小化や炉本体との垂直レベル方向との寸法調整が必要である。
- ⑥ 炉本体を運転をする為に直接必要なサブシステムの他に、建家内の環境を維持する設備がある。それらは、HVAC, TCS, 建家配電設備, 消火, 照明等であるが、これらの配管・配線のための経路(縦および各階ダクト)も今後設計が進んでいく上で、各サブシステム機器の配置・配管・配線との取り合いで考えていく必要がある。
- ⑦ 炉本体建家の構造計画<sup>30)</sup>については、地盤条件、耐震クラスの考え方が明確になる必要があるが、現在は剛構造と見なしている(S 60年度の耐震解析ではAクラス相当と仮定した)。炉本体およびその周辺装置は、熱的、分解・修理上の必要性から複雑な構造系を構成しており、建家との共振を避けるために種々の補強構造が必要である。技術的進展とコストの問題を考慮しつつ、建家自体への入力地震動を低減する免震構造も調査してみることも必要と思われる。
- ⑧ 分解・修理時のコンポーネント移送は、60年度は1階床ハッチー地下通路、61年度はスライディングドア(炉室にはハッチ有)ー地上通路の方式を検討した。各々メリット、デメリットがあるので、他の炉本体建家計画上の諸項目とも調整しながら選択していく必要がある。

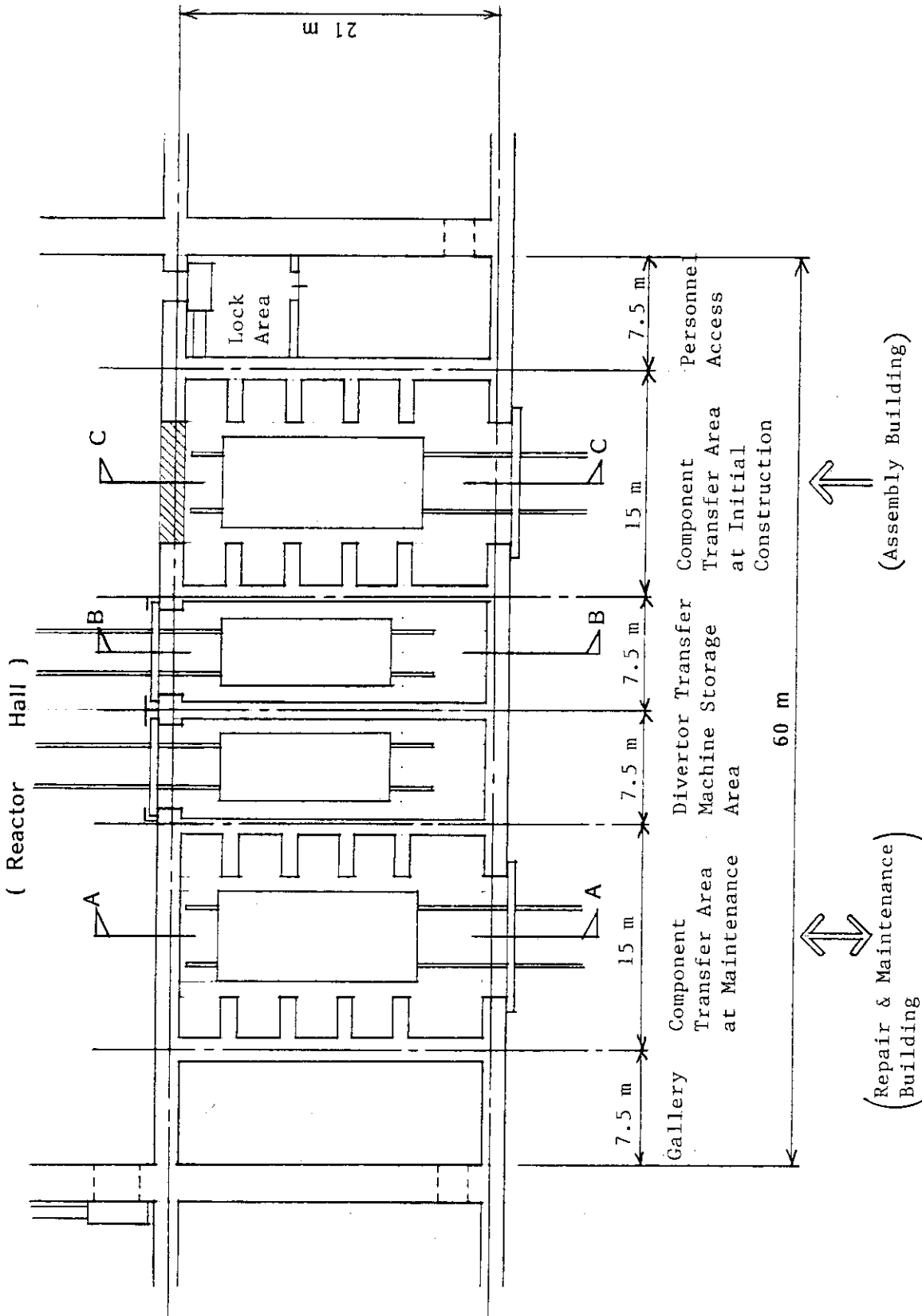


Fig. 3.2.3-1 Component transfer area and maintenance machine storage area with the reactor hall



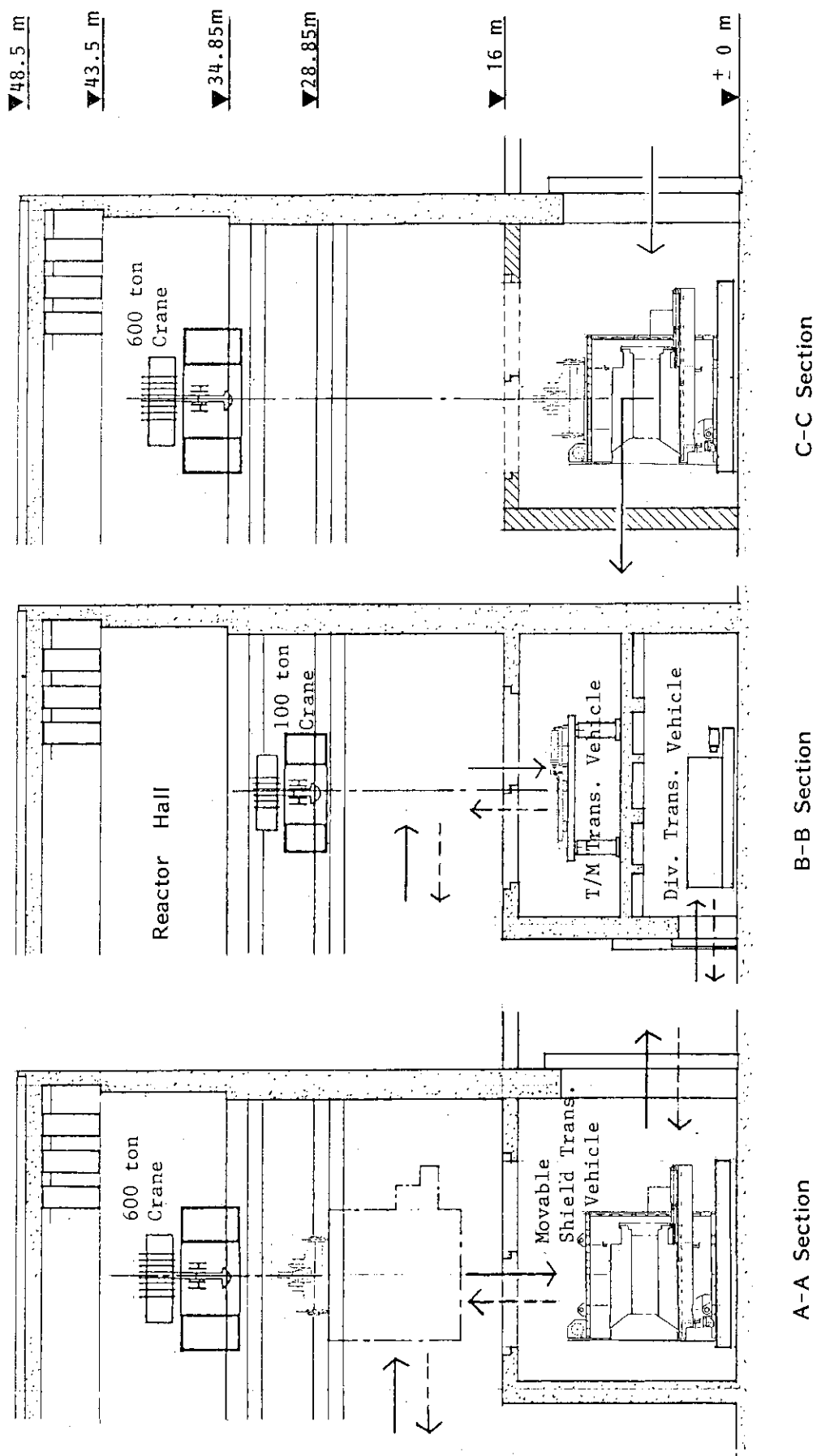


Fig.3.2.3-2 Vertical section of component transfer area and maintenance machine storage area

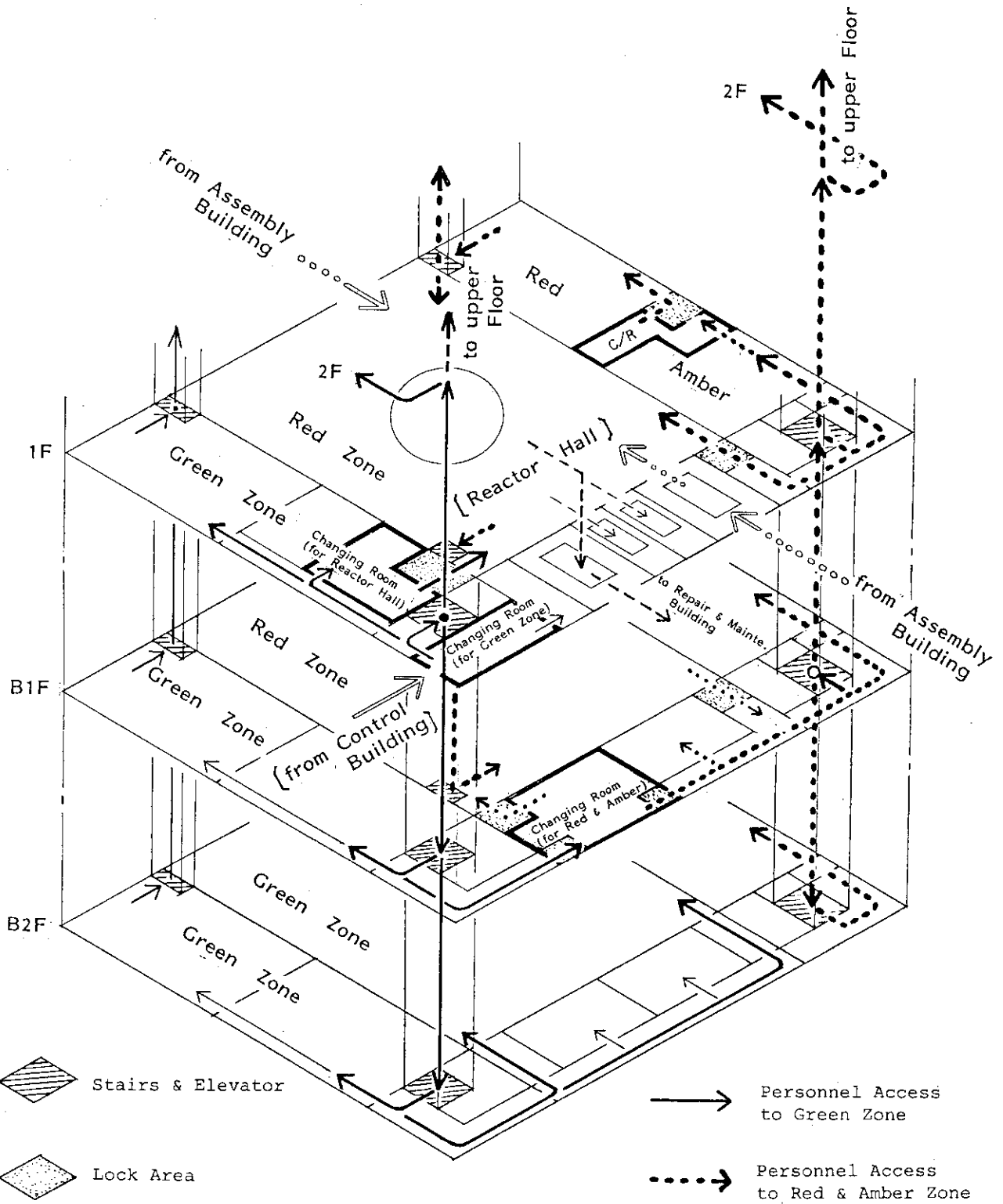


Fig. 3.2.3-3 Schematic diagram of the personnel access route to some rooms and components transfer routes

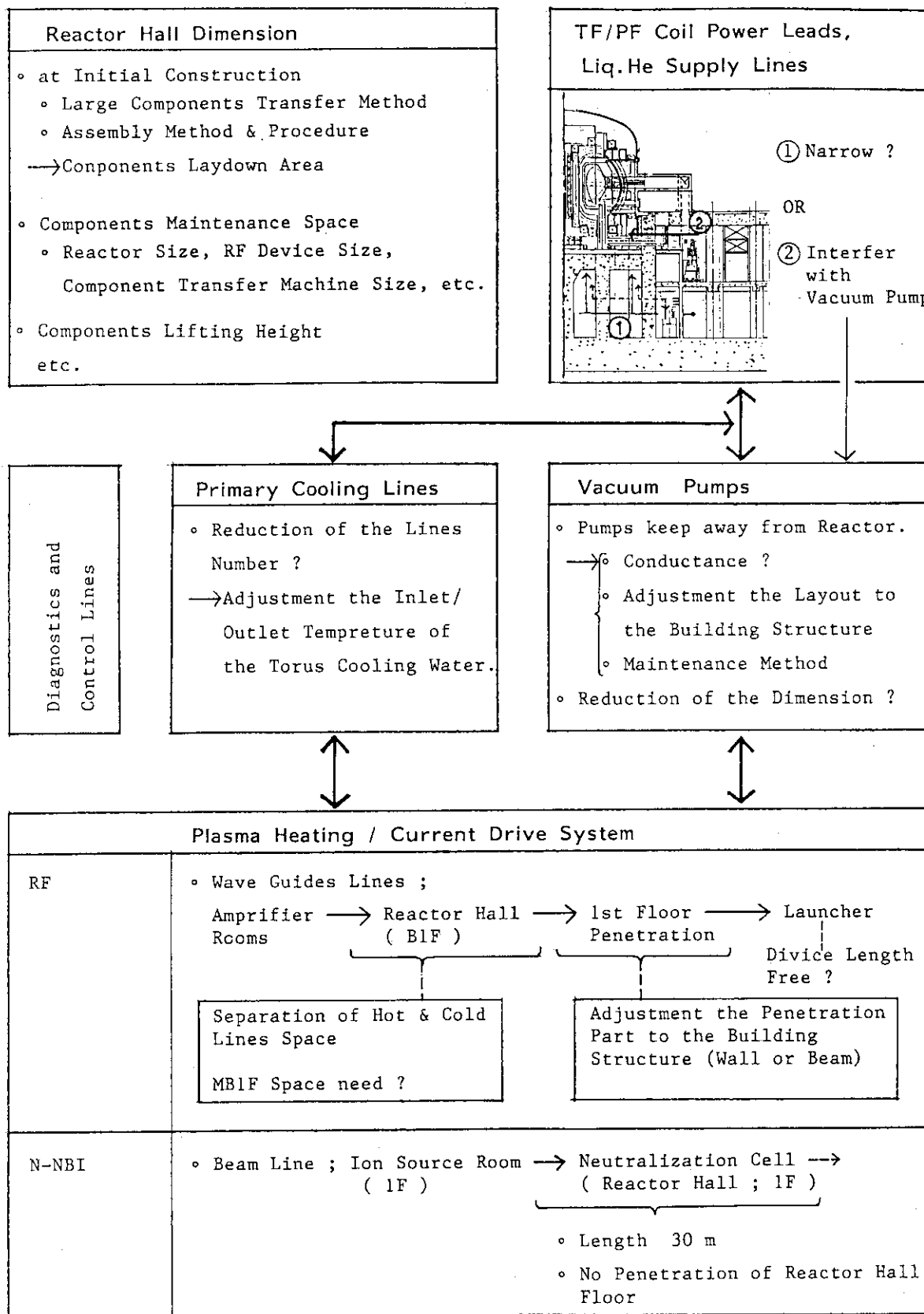


Fig. 3.2.3-4 Relationship of critical issues for the reactor hall basement floor configuration

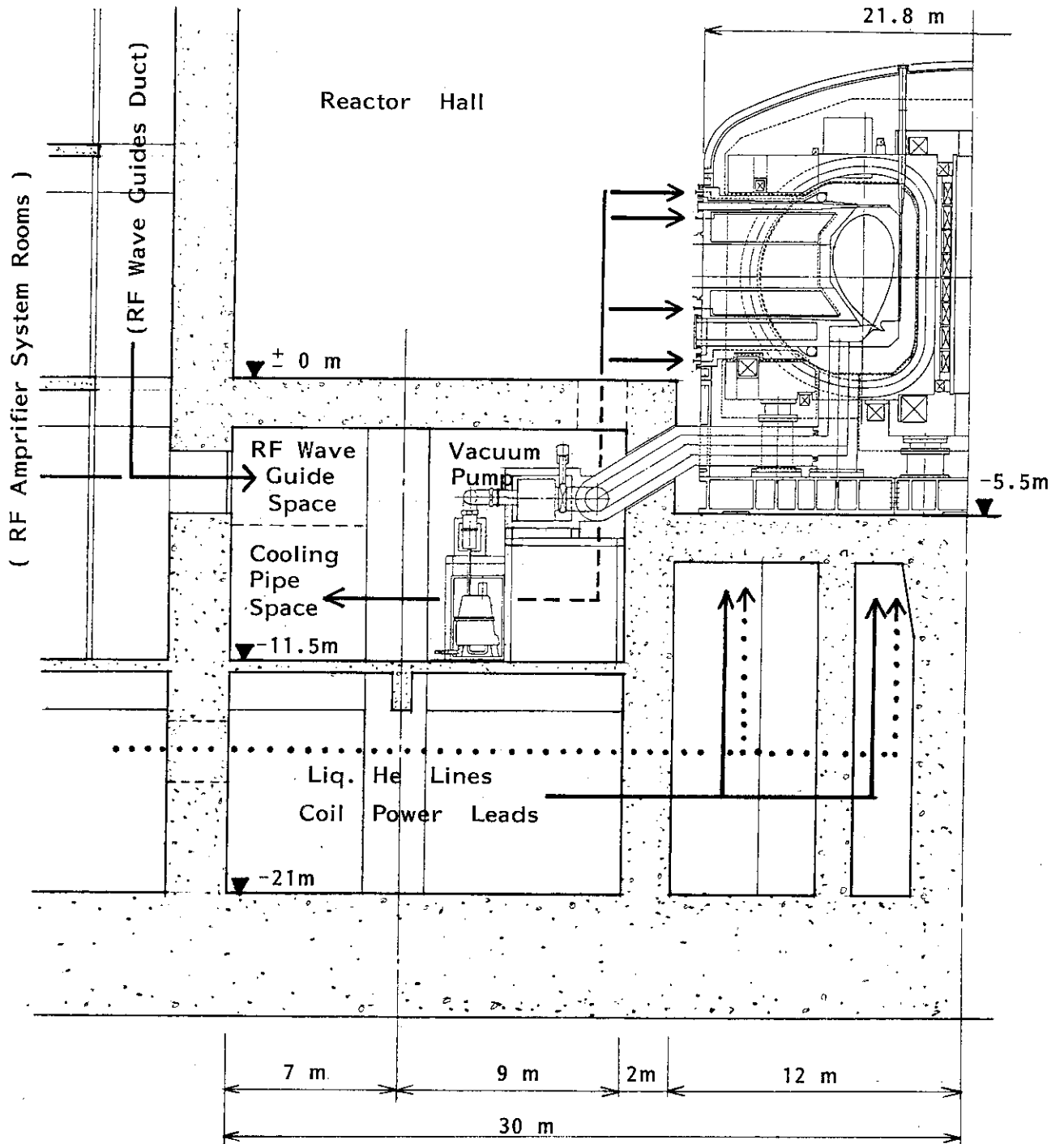


Fig. 3.2.3-5 Configuration of the reactor hall basement floor (vertical view)

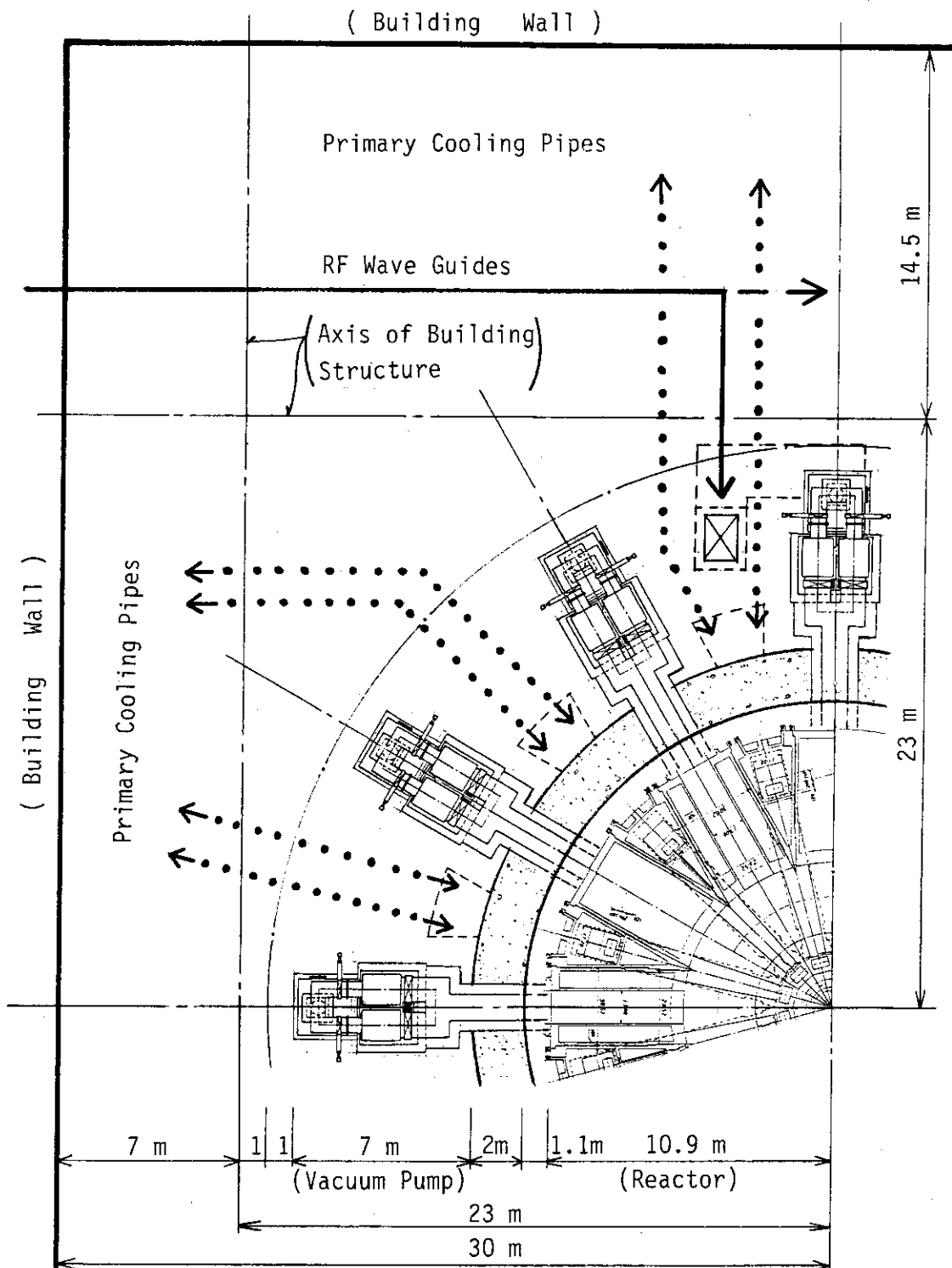


Fig. 3.2.3-6 Configuration of the reactor hall basement floor (horizontal view)

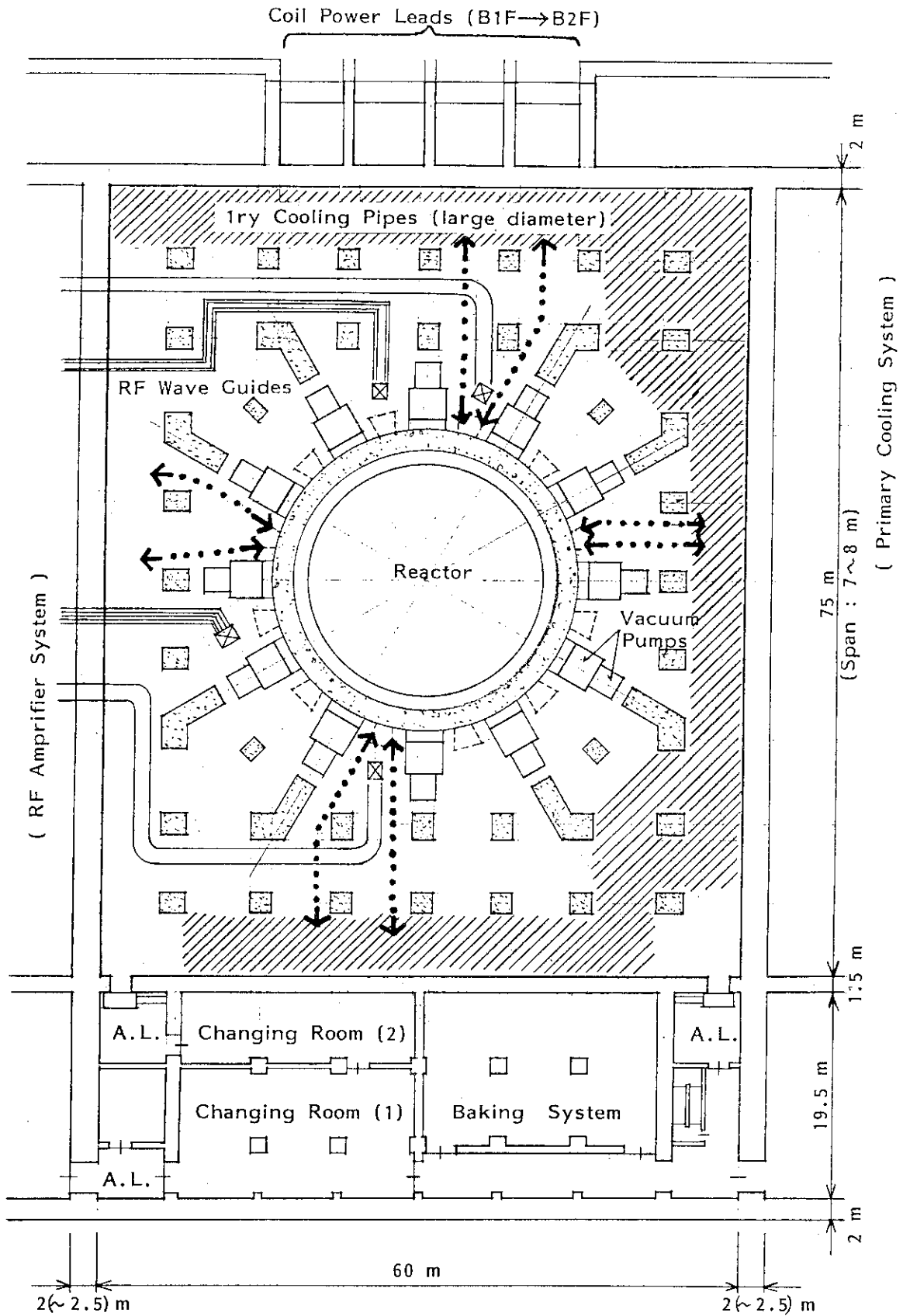


Fig. 3.2.3-7 Configuration of the reactor hall B1F

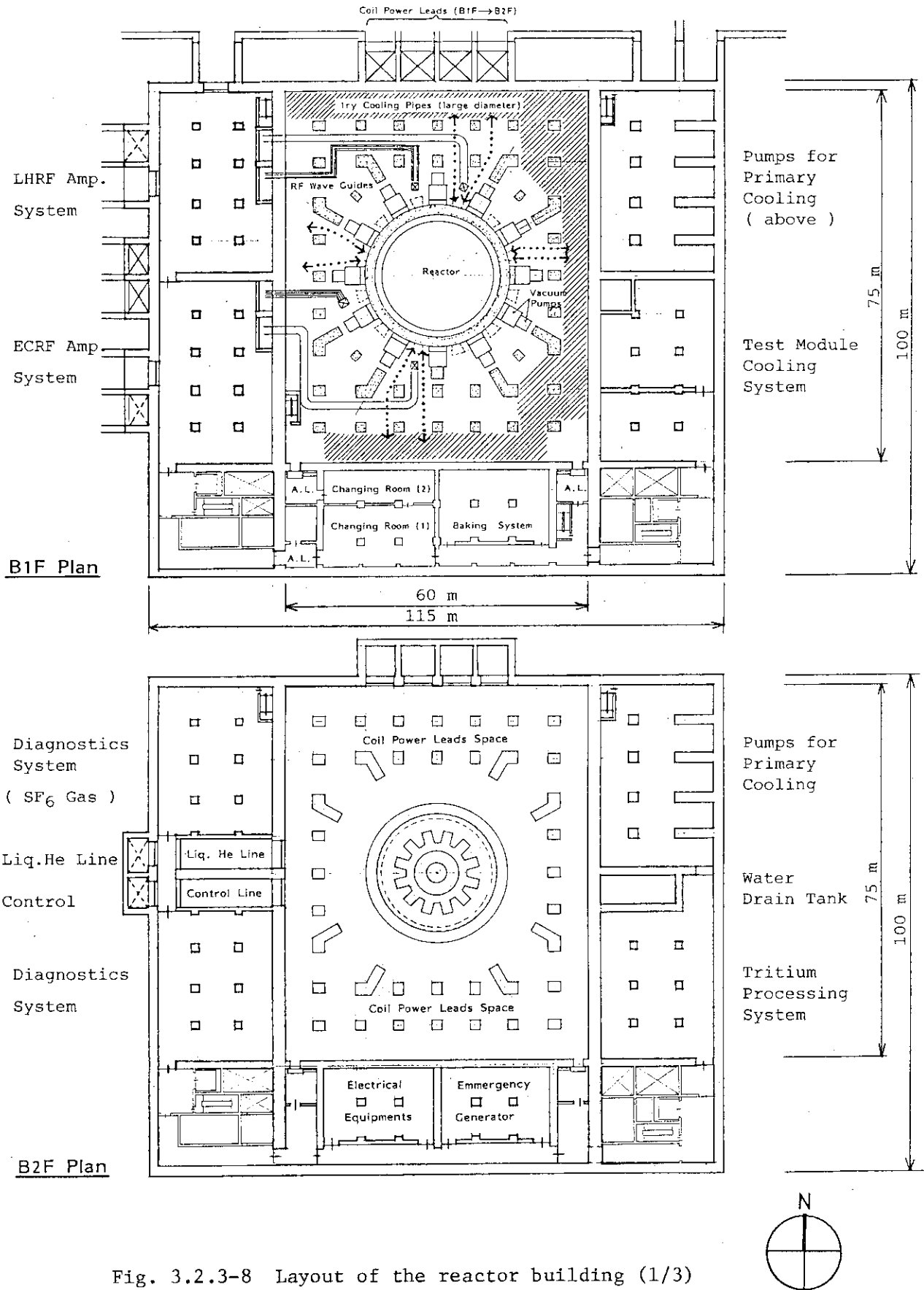


Fig. 3.2.3-8 Layout of the reactor building (1/3)

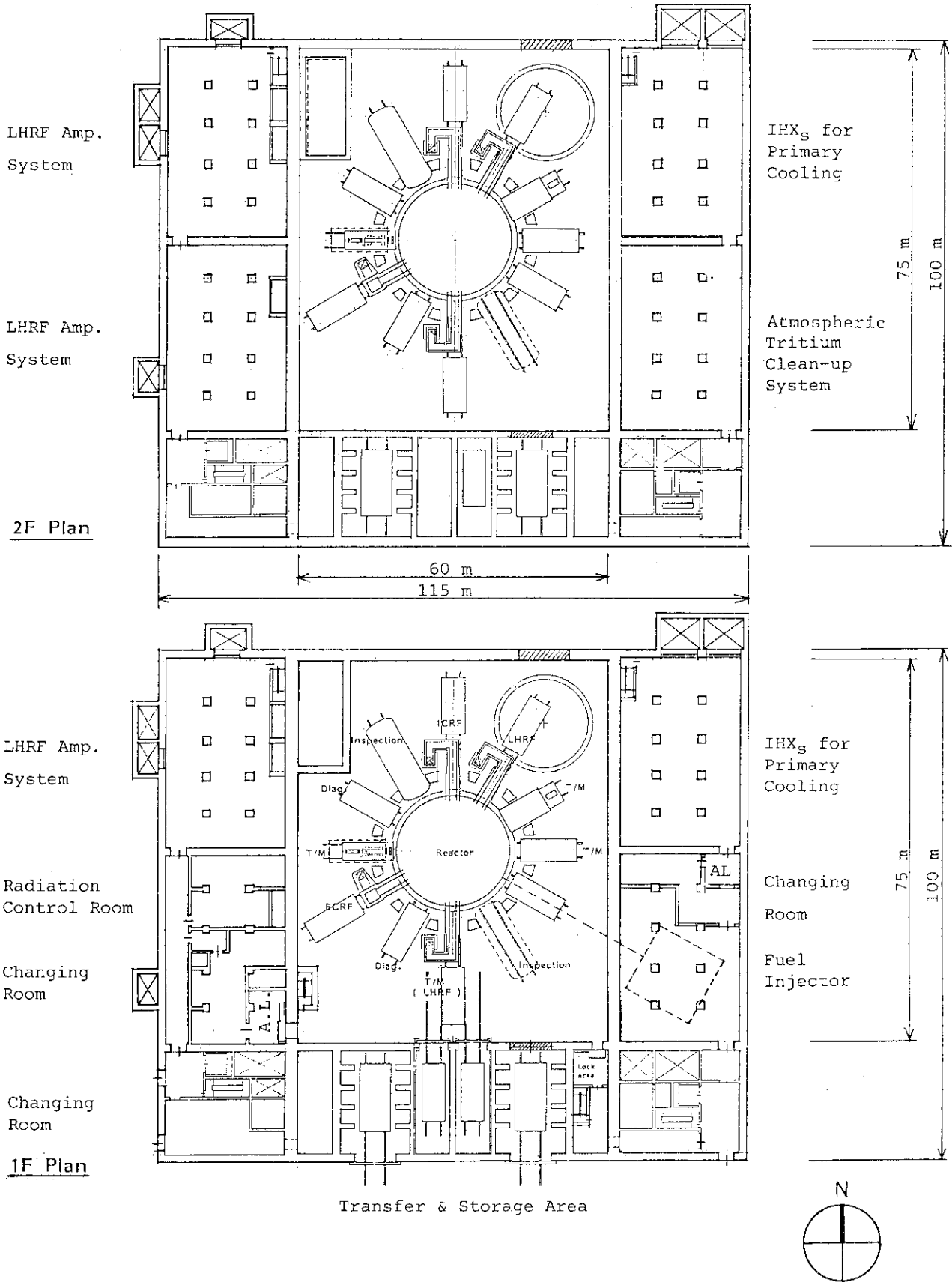


Fig. 3.2.3-8 Layout of the reactor building (2/3)



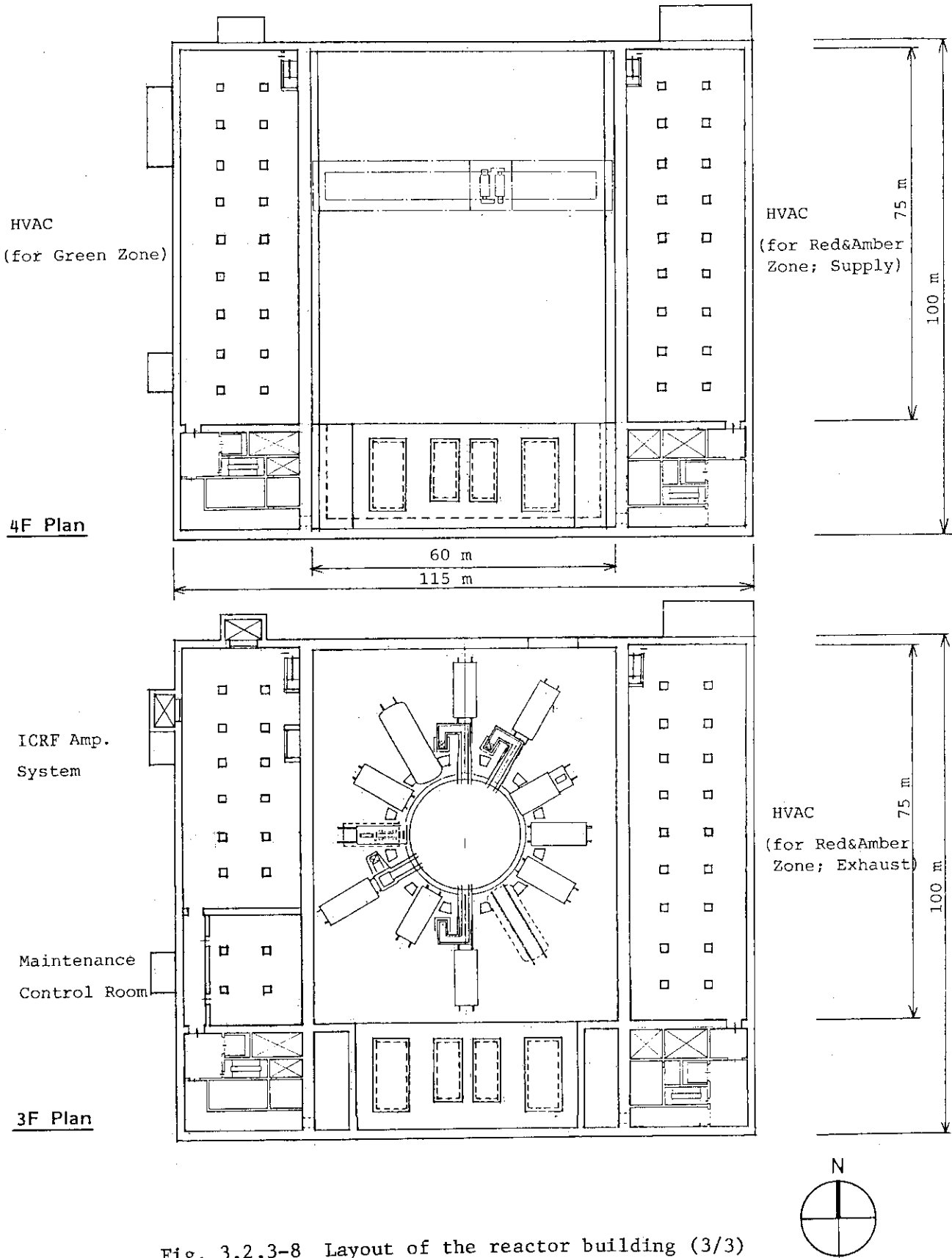


Fig. 3.2.3-8 Layout of the reactor building (3/3)

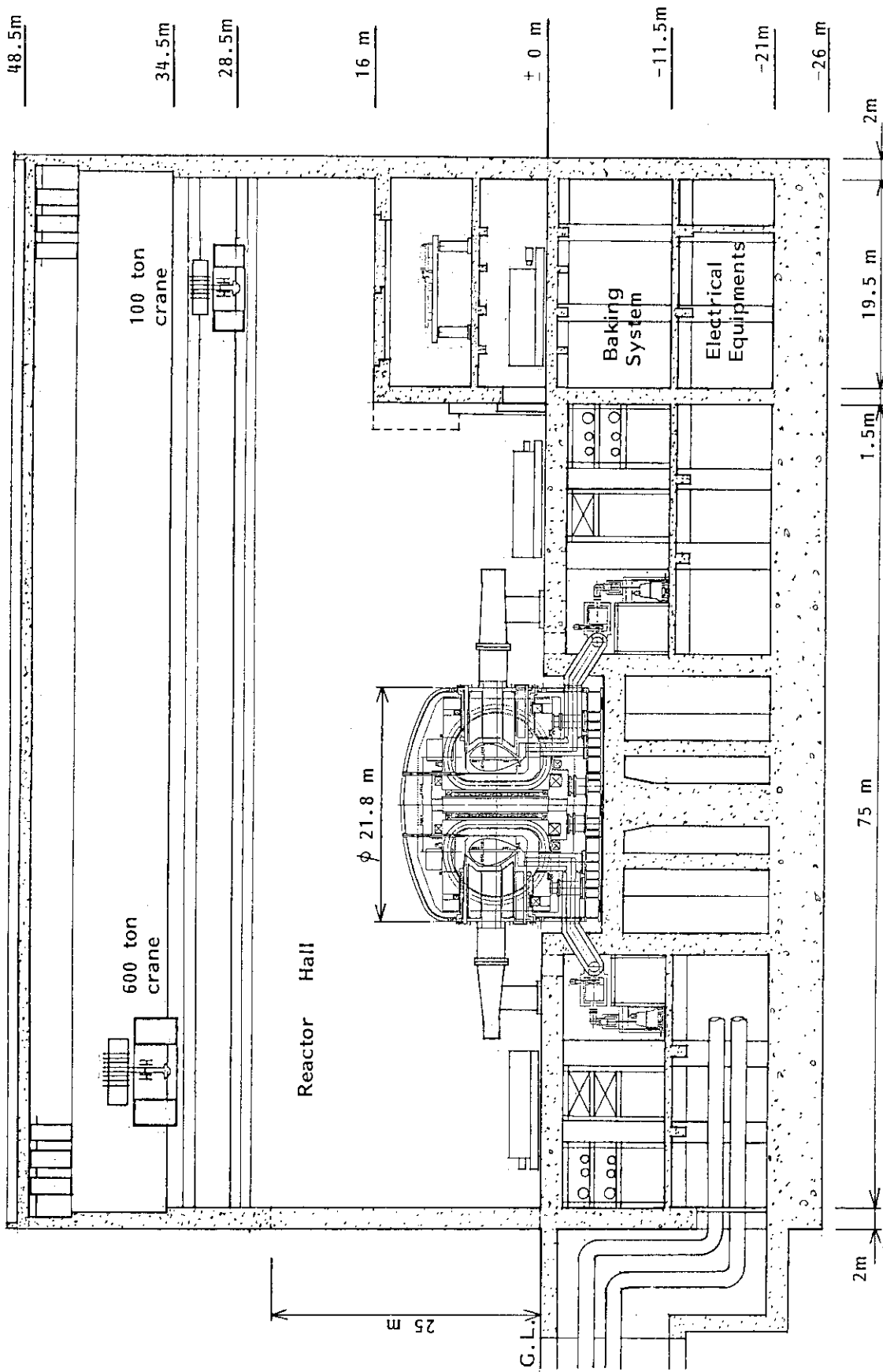


Fig. 3.2.3-9 Vertical view of the reactor building

## 4. 分解修理システムの設計検討

### 4.1 概 要

昨年度、ダイバータ板、第1壁などの炉本体機器の交換・修理・解体・廃棄のためのシステムおよび施設の概念設計が行なわれ、それらのイメージが明らかにされた<sup>30)</sup>。

昨年度の設計では施設が大規模なものとなったが、これはたとえば分裂炉の照射後試験施設などにくらべ、取扱い対象がはるかに大型かつ大重量構造物であるとともに作業内容も広範囲にわたっているためであり、昨年度設計は十分現実的なものであると考えられる。

いっぽう、本年度のFER設計においては合理化を目標の1つにした見直し、設計作業が行なわれた。したがって、分解修理・解体廃棄物処理システムの本年度の設計は、昨年度結果をベースに以下の2項目を重点項目として設計が行なわれた。

- ① 取扱い対象コンポーネントである炉本体構造の変更による分解修理等関連システムの見直しおよび設計
- ② 分解修理、移送などの方式の見直しによる関連システムの簡素化および施設規模の縮小化  
ただし、上記項目はまったく独立ではなく相互に関連しあって検討された。

なお、本章では本年度の代表案として選定されたACSについては述べるが、Op, C及び'85 FERの分解・修理施設との比較が付録で簡単に記述される。

### 4.2 基本構想

#### 4.2.1 設計条件

##### (1) 対象機器

放射化または放射能汚染されるため、遠隔操作による分解・修理が必要となると予想される炉本体およびその周辺機器、分解・修理装置が分解・修理、解体・廃棄の対象とされる。

分解・修理の対象機器およびその寸法、重量、崩壊熱をTable 4.2.1-1に示す。炉構成主要機器のうち、TFコイル、PFコイルなどについては計画的分解・修理は考えないものとするほか、故障等による計画外分解・修理は発生するとしてもHプラズマ運転時に発生し、そこで十分対応がなされるものとする。その結果、D-T実験開始以降は計画外分解・修理は考えないものとし、分解・修理施設での対象機器から除外する。

Hプラズマ運転時、炉本体機器の分解・修理はトラスから引抜かれた後、原則として、炉室内もしくはサイト工場/アSEMBルホールで直接作業により行なわれるものとし、分解・修理施設はD-T実験以降を対象に検討、設計する。

##### (2) 搬入個数・頻度と保管個数

分解・修理施設に搬入される炉本体機器の個数・頻度をTable 4.2.1-2の中央欄のようにするとともに、これにもとづき、本施設での保管容量を同表右欄のように設定した<sup>30)</sup>。ここで、

ダイバータ板と上部ガードリミタ板は1年に1回交換するとの前提のもと、炉の休止期間等を考慮して、半年ごとに半炉心分交換し、本施設で修理後、次の交換に備えることとした。インボードガードリミタはプラズマディスラプション時の熱負荷を受けることからそれよりさらに寿命が短かく半年に1度の定期交換以外にも分解・修理が必要と考えられるがモジュール全体重量が小さく、再使用部分が少ないのに対し、再生が困難なので、搬入モジュールは保管せず、試験・検査後、廃棄物とする。

### (3) 環境条件

ここでは、炉本体機器の誘導放射能と拡散の可能性のある機器表面付着の放射能（デブリとトリチウム）について示す。

#### 1) 生体線量率

炉本体機器の分解・修理は、炉停止後1週間のベーキングを行なってから開始されるため、炉停止1週間後の生体線量率を以下に示す。なお、以下の値は、 $0.3 \text{ MW} \cdot \text{y} / \text{m}^2$  となるまで炉を連続運転したとして評価した値であり、最も保守的である。

- 接プラズマ面（第1壁，ダイバータ板などの表面）……………  $10^6 \text{ rem/h}$
- 外側遮蔽体外表面 ……………  $10^{-4} \text{ rem/h}$

#### 2) トリチウム放出量

接プラズマ面からのトリチウム放出量はその温度に依存している。第1壁とダイバータ板表面からのトリチウム放出量と表面温度との関係を Fig. 4.2.1-1 に示す。

#### 3) 崩壊熱

搬入された炉本体機器は崩壊熱を有しているため、その大きさにより、冷却設備を考慮する必要がある。ダイバータ，可動遮蔽，RF ランチャーの崩壊熱（1週間後，1月後，1年後）を Table 4.2.1-3 に示す。

Table 4.2.1-1 Approximate dimension, weight and decay heat of reactor components

Components	Dimension [m]	Weight [t]
Divertor module	$3^w \times 8.5^l \times 1.2^h$	62
Guard limiter		
Inboard	$0.4^w \times 0.2^t \times 10.6^h$	1.5
Upper part	$2.3^w \times 0.3^t \times 7.7^h$	15
Movable shield*	$4^w \times 6.5^l \times 7^h$	200
RF launcher	$2.7^w \times 8.5^l \times 4^h$	120
Test module	$1^w \times 3^l \times 2^h$	18

\* Integrated with an access door.

Table 4.2.1-2 Receiving frequencies and storage capacity of reactor components to be maintained

Components	Receiving Frequencies	Storage Capacity
Divertor Module	6 Mod./half year	6 Mod.
Guard limiter		
Inboard	6+α Mod./half year	0 Mod.
Upper part	6 Mod./half year	6 Mod.
Movable shield	1 Mod./year	1 Mod.
RF launcher		
ICRF	2* Mod./year	1 Mod.
ECRF	1 Mod./year	1 Mod.
Test module	1 Mod./year	0 Mod.

\* One of them is received on unscheduled.

Table 4.2.1-3 Decay heat of reactor components  
(per module)

Unit: kW

Components	Time after reactor shutdown	A week	A month	A year
	Divertor module		3.4	2.7
Guard limiter				
Inboard		1.5	1.2	0.83
Upper part		2.7	2.2	0.49
Movable shield		19	15	10
RF launcher		2.2	1.8	1.2
Test module (low temperature T/M)		0.2	0.16	0.11

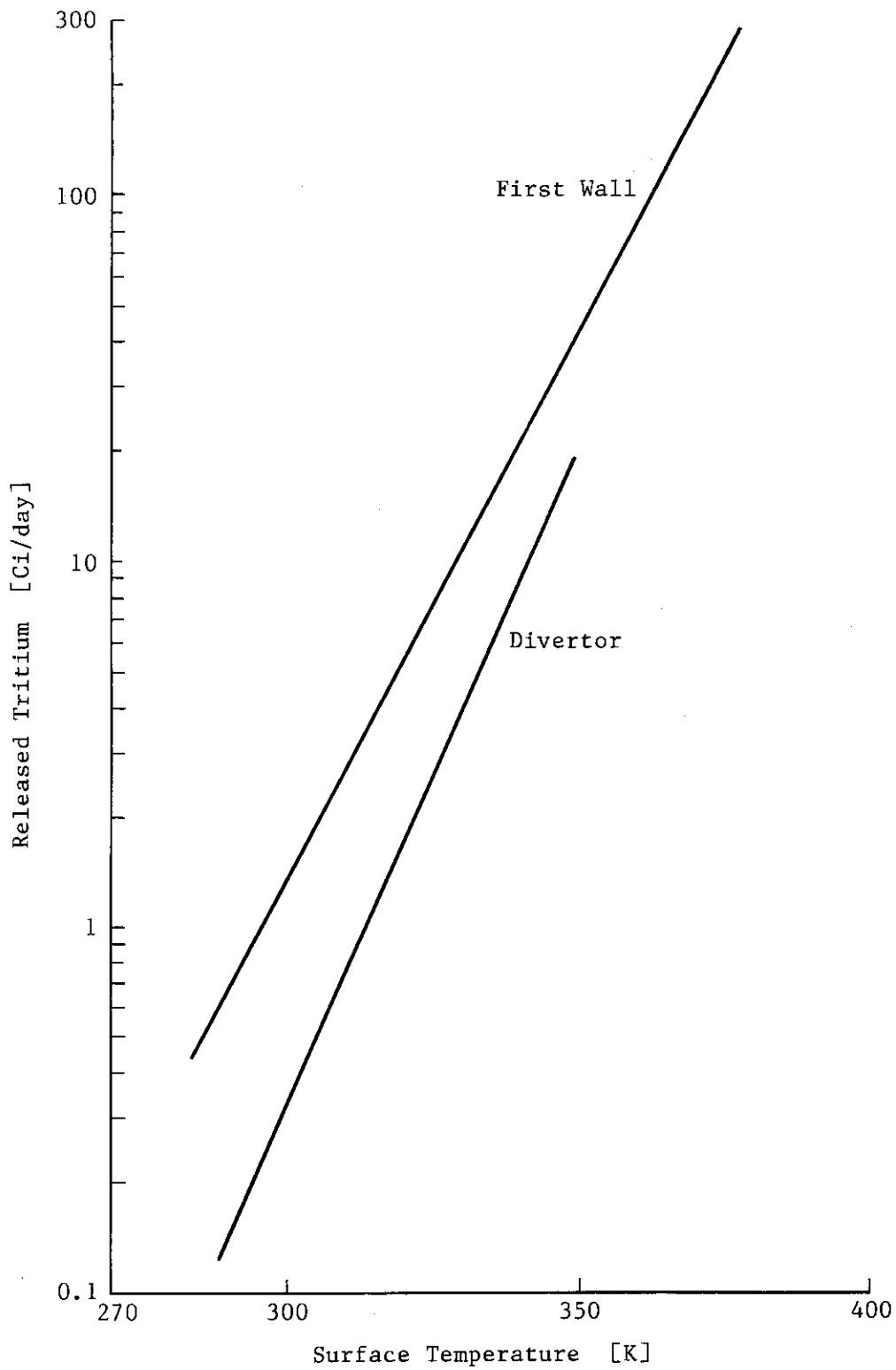


Fig. 4.2.1-1 Tritium Released from Divertor Plate and First Wall (Whole Torus)

## 4.2.2 基本計画

### (1) 基本作業工程

炉本体機器の分解・修理，解体・試験，廃棄・貯蔵に関する基本作業工程を Fig. 4.2.2 - 1 に示す。

炉本体建家から分解修理建家へ搬入された炉本体機器は除染された後，検査される。ダイバータモジュールのように1度に多数のモジュールが搬入される場合，除染，検査作業ともシリーズになるため，除染後検査されるモジュール以外はいったん，一時保管された後，順次検査されることになる。検査されたモジュールはその結果または分解修理計画にもとづき，修理，一時保管，解体廃棄のうちのどれかの作業が行なわれる。修理された機器は検査後次の使用までの間，一時保管される。解体廃棄される機器は適当な大きさ，形状に解体，減容し，適当な貯蔵・輸送容器に収納し，廃棄物貯蔵施設に移送し，そこで必要に応じて適当な処理（たとえば雑小物固体廃棄物の固化）を行なった後，長期貯蔵される。

いっぽう，解体される機器の第1壁，ダイバータ板等の1部は必要に応じて試験片として切出され，材料物性等の試験が行なわれる。また，テストモジュールに設置されるテストキャプセル内の照射後試験片も，分解修理室へ搬入，除染後試験セル内で試験が行なわれる。

### (2) 分解・修理の作業方法

除染，検査，分解・修理に関する作業方法について述べる。

ACS 炉では '85FER とは異なり，ダイバータモジュール，可動遮蔽体の誘導放射能は外側外表面を除いて，作業者近接可能なレベルにはないため（炉停止1日後でも），たとえば，ダイバータ遮蔽延長部のローラの直接保守はできない。したがって，本年度 ACS 炉の分解・修理は原則として遠隔操作によって行なうこととする。ただし，下記の点を考慮して，先端部（接プラズマ領域）と後方部を隔離壁によりホットセル（先端部側）とセミホットセル（後方部側）に仕切るものとする。

- ・デブリなどの放射化粒子による汚染は先端部のみであるため，汚染拡大防止と作業後の除染の容易さを極力図る。
- ・後方部は短時間なら近接作業の可能性があるので，遮蔽機能を有する隔離壁で先端部と仕切ることにより，マニピュレータ等遠隔操作機器故障時，放射能汚染もないため立入りも可能である。
- ・後方部の誘導放射能レベルは低いので，通常の遮蔽窓を介した遠隔操作（半遠隔操作）が行なえるため，ITV を介した遠隔操作（完全遠隔操作）にくらべ作業性が良い。

接プラズマ部分は非常に高い精度，品質，信頼性等を要求され，それを完全遠隔操作で分解・修理するのは現状技術からみて非常に困難と思われる。したがって，接プラズマ機器は容易に行なえる作業のみ行なうものとし，それ以外の作業はサブモジュール化した接プラズマ部分を交換するものとする。ダイバータのサブモジュール化概念を Fig. 4.2.2 - 2 に示す。

後方の低放射化部分は極力遠隔操作により分解・修理しやすい構造とされているものとし，遮蔽窓を介した半遠隔操作により保守を行なう。

### (3) 解体・試験

炉心構造物の解体・試験・廃棄物処理・貯蔵に関する基本作業工程と物流を Fig. 4.2.2 - 3 に



示し、以下に解体・試験の基本的な機能および概念設計における基本的な考え方について述べる。

## 1) 解体

施設から排出される炉本体構造物の破損機器や寿命到達機器等の放射性固体廃棄物は試験、処理、貯蔵のために必要に応じて解体される。この解体は分解修理建屋内の解体セルにて実施される。解体セルは以下のような主要機能、基本思想を有する。

### (i) 主要機能

- ① 放射化機器および高汚染機器の切断、解体を行う。
- ② 試験セルにて試験するための切断片を作る。
- ③ ブランケットテストモジュールから増殖材を取出し、容器に収納後、各研究室または貯蔵施設へ搬出する。
- ④ 切断した放射性固体廃棄物を必要に応じて圧縮減容し貯蔵施設へ搬出する。

### (ii) 基本思想

- ① 搬入される最大重量物は可動遮蔽体とする。ただし、冷却配管は分解修理セルにて切断されほとんど突出していないものとする。
- ② 雑小物固体廃棄物等の様に形状の点で減容した方が良く認められるものについては適当な大きさに減容する。
- ③ 増殖材ペブルは乾式回収法で回収の後、容器に収納し、貯蔵室または各研究室へ搬出する。
- ④ 他の設備へのトリチウム拡散を防ぎ、かつトリチウム汚染空間をできるだけ小さい範囲に限定するため、ブランケットテストモジュールを切断し増殖材ペブルを回収するエリアは他のエリアと隔離する。

## 2) 試験

高放射化試料の各種試験は分解修理建屋内の試験セルにて実施される。本試験セルの試験設備はできるだけ既存設備の有効利用を図り本施設内設備を極力少なくし、又照射済試料の試験は増殖材試験を除いて基本的に分裂炉における照射後試験と同程度のものとする。試験セルの主要機能は以下の通りである。

- ① 照射された試験体あるいはダイバータ板、可動遮蔽体第1壁等から切出された試験片を用いて、Metallography test の各種試験を行う。但し、Mechanical property test, Chemical test 等については本試験セルでは実施せず他の施設で行うものとし、その施設へ搬出するものとする。
- ② 解体セルから搬入された試験片の最終加工を行う。
- ③ 試験済試料などを容器に収納して、固化又は貯蔵のために搬出する。

## (4) 移送, 建家

### 1) 移送

'85 FER では、炉建家～分解・修理建家間の移送は地下通路により行なわれたが、今年度、合理化検討の一環として炉室空間縮小などを目標とした見直しの結果、移送は地上通路により行なうものとした。地上移送を行なうことにより、分解・修理室内台車と炉建家～分解・修理建家間移送台車の兼用化による合理化も図るものとする。しかし、地上移送の場合、各室出入

口の仕切りはドア方式になるため、昨年度のハッチ方式にくらべ、気密性の確保のための技術的困難さが増す可能性がある。

分解・修理建家～廃棄物処理・貯蔵建家間の移送は昨年度同様地下通路方式とする。

## 2) 建家（全体配置計画）

大型設備の削減と建家規模の適正化のため、以下のような方針のもと全体配置計画を行なうこととする。

- ① 大型天井走行クレーンを極力少なくするため、重量物取扱いは、それぞれ独立したセルである、セミホットセルとホットセル内でのみ行ない、重量機器積替えのため特別のセルを設けないこととする。そのため、新品モジュールの搬入などは、多少経路が複雑になるが、いったん炉室を介して行なうこととする。
- ② 炉室からの搬出入は必ず除染セルを通るものとする。
- ③ 廃棄物処理・貯蔵建家への搬出は、解体セル（ホットセル）から直接行なうものとする。
- ④ 分解・修理のための主要セルは移送などとの関連から、1階に配置し、トリチウムクリーンアップシステムを含め空調設備、除染作業等で使用する液体の処理設備などの補助設備は建家規模（敷地）の縮小のため、地階に設ける。
- ⑤ 積替えのシステム簡素化と敷地面積有効利用のため、一時保管セルは地下に設け、天井走行クレーンを使用し、ハッチを介して、出入れする。また、各機器の出入れを容易にするため、コンポーネントごとに保管スペースを独立させる。
- ⑥ 作業性の良さなどのため、主要セルのある1階に制御室を設けるほか、遠隔操作を補助するための各種設備も1階に配置する。

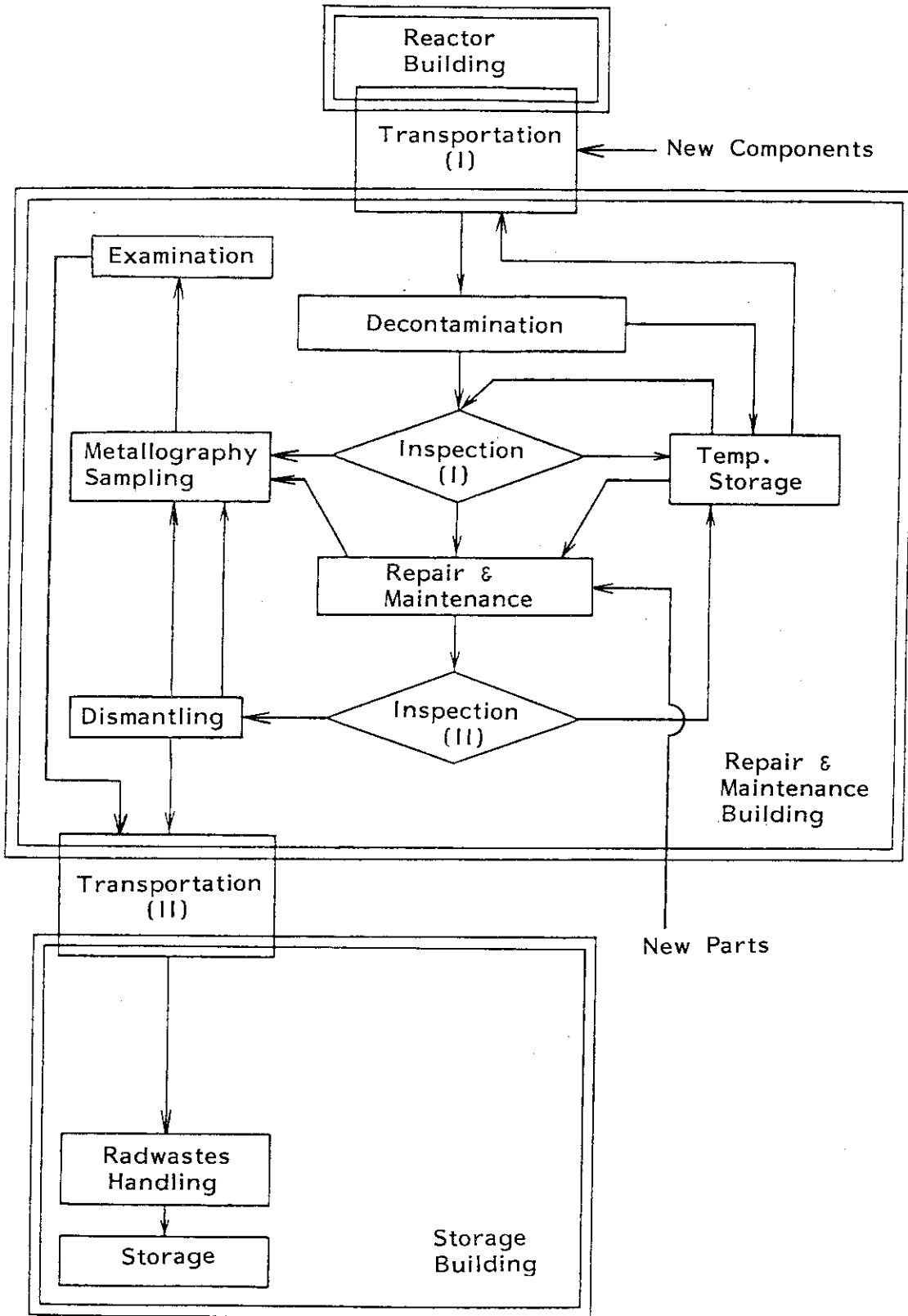


Fig. 4.2.2-1 Basic work flow of repair, maintenance, examination, dismantling, radwastes treatment and storage

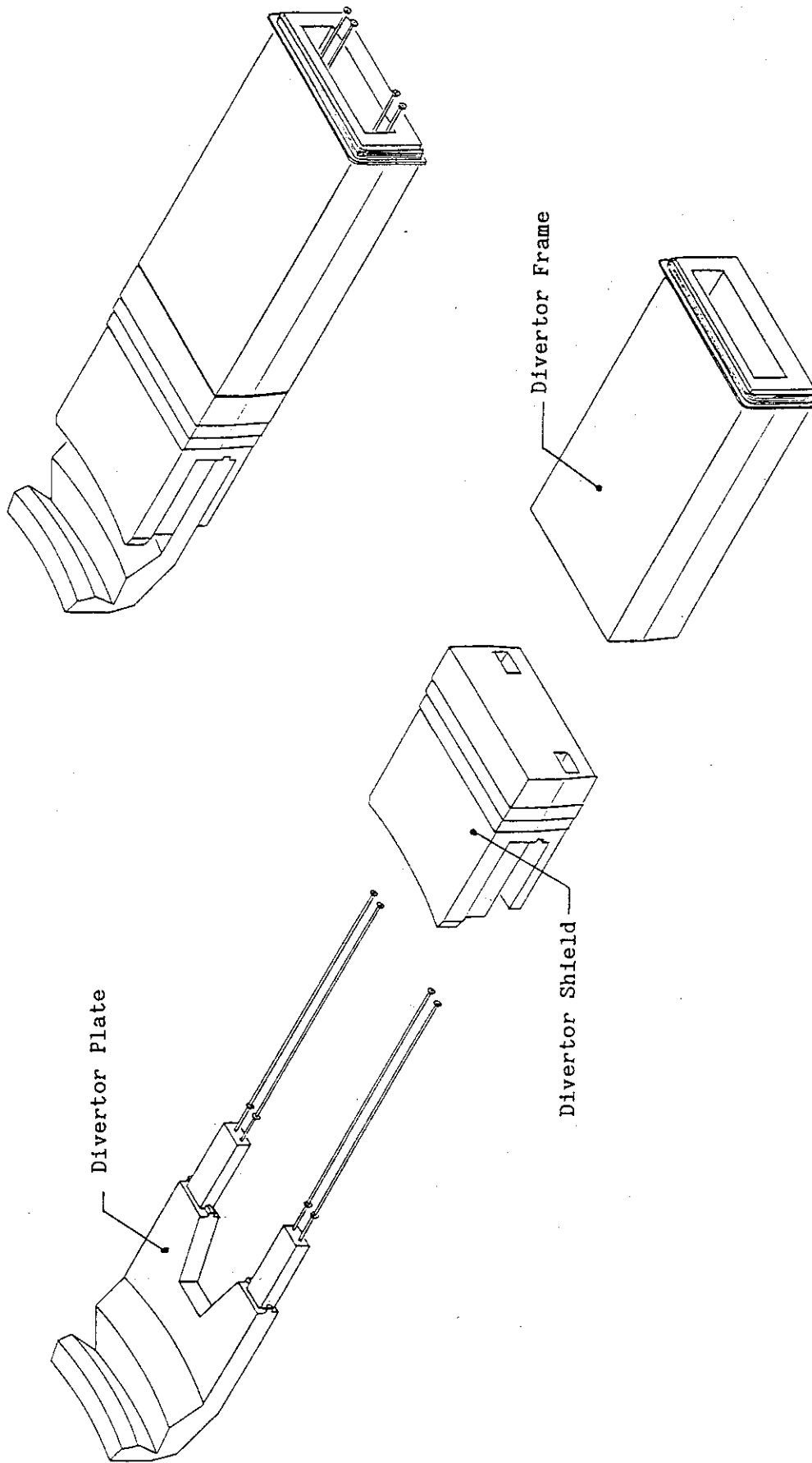


Fig. 4.2.2-2 Divertor structure

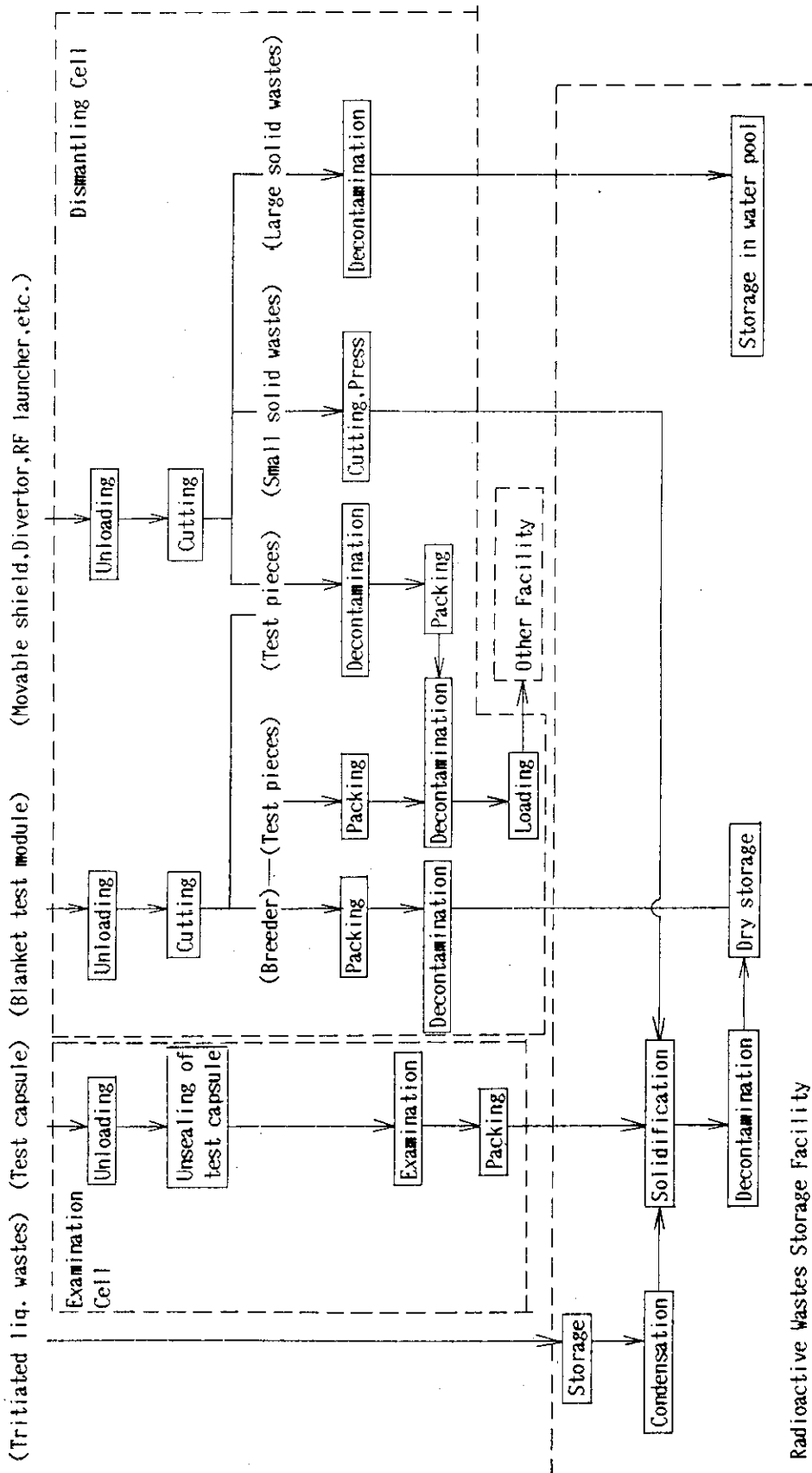


Fig. 4.2.2-3 Basic treatment flow in dismantling cell, examination cell and radioactive wastes storage facility

### 4.3 概念設計

#### 4.3.1 除染

##### (1) 基本設計

##### 1) 除染方法

除染の対象は接プラズマ面近傍に付着したデブリ（粒粉状）であり、①ガス吸入方式、②液体洗流し方式、③ブラッシング方式などが考えられるが、①ガス吸入方式では確実性が十分ではないので、②と③と組合せた方式、すなわち、液体（水またはフロン）で洗流しながら、ブラシにより払い、擦り、落とす方式を採用する。ここで発生した粒粉を含む廃液は廃液処理室で回収、処理される。

##### 2) 除染手順

除染手順をダイバータを例にとり、以下に説明する。その他の構造物の除染手順もほぼ同様である。

- ① セミホットセル用台車にダイバータ積載のコンテナを搭載する。
- ② アイスボックス付きダイバータ板をホットセル側に挿入する。
- ③ ダイバータ板を覆うアイスボックスをホットセル用台車により引抜く。（ホットセル内）
- ④ アイスボックスは、取扱いが容易な様に切断工具により細分化し、搬出シュートから解体用プールに搬送する。（ホットセル内）
- ⑤ 壁開口穴の隙間部をシールドゲートにて塞ぐ。（ホットセル内）
- ⑥ 除染工具にて、ダイバータ板表面を除染する。（ホットセル内）
- ⑦ ダイバータ板をコンテナに再び引き込む。

##### 3) 必要機器

上述の作業は、遠隔操作にて実施する必要があるため、以下の遠隔操作用機器が必要である。

##### a) 台車（ホットセル用、セミホットセル用）

各構造物は形状が大幅に異なるため、壁開口穴は専用となるが、ガードリミタ用、ダイバータ用、RFランチャー用とは高さが異なるだけで位置は同じ（高さの差は炉本体設置時のものとする）なので台車は共用化し、高さの差は台車上の調整台で行なう。セミホットセル内可動遮蔽用台車は炉建家からの移送台車と兼用することとする。また、可動遮蔽はコンテナ内に装備されている移動装置によりホットセルへの移動を行なうこととし、ホットセル内可動遮蔽用台車も必要としない。その結果、セミホットセル用台車、ホットセル用台車各1台、計2台が必要となる。

##### b) 除染工具

1)様記載通り、除染工具は液体噴出しながらブラシにて表面を払い、擦り、落とすものとする。本工具は各構造物共用とする。又、そのハンドリングは後述のマニピュレータにて行う。

##### c) 切断工具

本工具は、各構造物用アイスボックスを細分するためのものであり、アイスボックスはアルミ合金製薄肉構造であるため、カット方式で切断を行う。又、本工具のハンドリングは、除染工具と同様、マニピュレータにて行う。又、切削粉飛散防止のため、集塵装置にて切削粉を吸

収しながら、切断を行うものとする。

d) マニピュレータ

本マニピュレータは、除染工具、切断工具、細分化されたアイスボックス(500<sup>□</sup>mm,約10kg)を取扱うものであり、その走行は、除染ホットセルスペースの関係上、天井走行又は床面走行とはせずに、各台車上で前後に自走するものとする。又、各構造物は特異な形状をしているため、腕部は全方向からのアクセスが可能で柔軟な動作が可能なものとする。

(2) 機器設計

1) 構成と機能

ダイバータ板除染の概念図を Fig. 4.3.1 - 1, Fig. 4.3.1 - 2 に示す。その他の構造物に対する機器の構成と機能もほぼ同様である。

a) セミホットセル用台車

移動台、車輪、走行駆動装置などより構成されており、コンテナを積載して、遠隔操作により、軌条を任意に移動、停止が可能な台車であり、走行駆動装置は電動機、減速機、電磁ブレーキ、電磁クラッチ等より成る。

ダイバータ、RFランチャーに対して使用する場合にはテレスコピックシリンダも搭載する。また、RFランチャーの場合はさらに専用台(走行可能)も搭載される。

テレスコピックシリンダは、望遠鏡の筒状をした液圧によって伸縮可能なシリンダであり、コンテナに収納されているダイバータを、後部より押し引きできる。

b) ホットセル用台車

移動台、車輪、走行駆動装置、アイスボックス引抜き装置、2台のマニピュレータより構成されており、本台車は遠隔操作により、軌条を任意に移動、停止が可能な台車である。

アイスボックス引抜き装置は台車の内部に組込まれており、壁開口穴よりホットセルに挿入されたダイバータ板用アイスボックスを引抜くことができ、更に引抜いたアイスボックスを台車上で移動させることができる。アイスボックスの移動を容易にするため、台車上面に、エンドレスローラーを適当な間隔で配置している。

マニピュレータは台車上面のレール上を移動できる。マニピュレータ本体は脊柱型構造のもので、全方向に作動でき、除染工具、乾燥ガス用工具、及び切断工具等を把持して、目的の作業を行うことができる。

2) 特 徴

- ① 台車は自走式のため、建家側にドライブエリアおよび牽引設備等を必要としない。
- ② 台車は軌条走行のため、経路が一定であり、停止位置決めが容易である。
- ③ 当マニピュレータは象の鼻型をしており、設置面積が小さく、狭い場所に容易に設置でき、自由度が高く、柔軟な動作ができるため作業性が高い。

3) 基本仕様

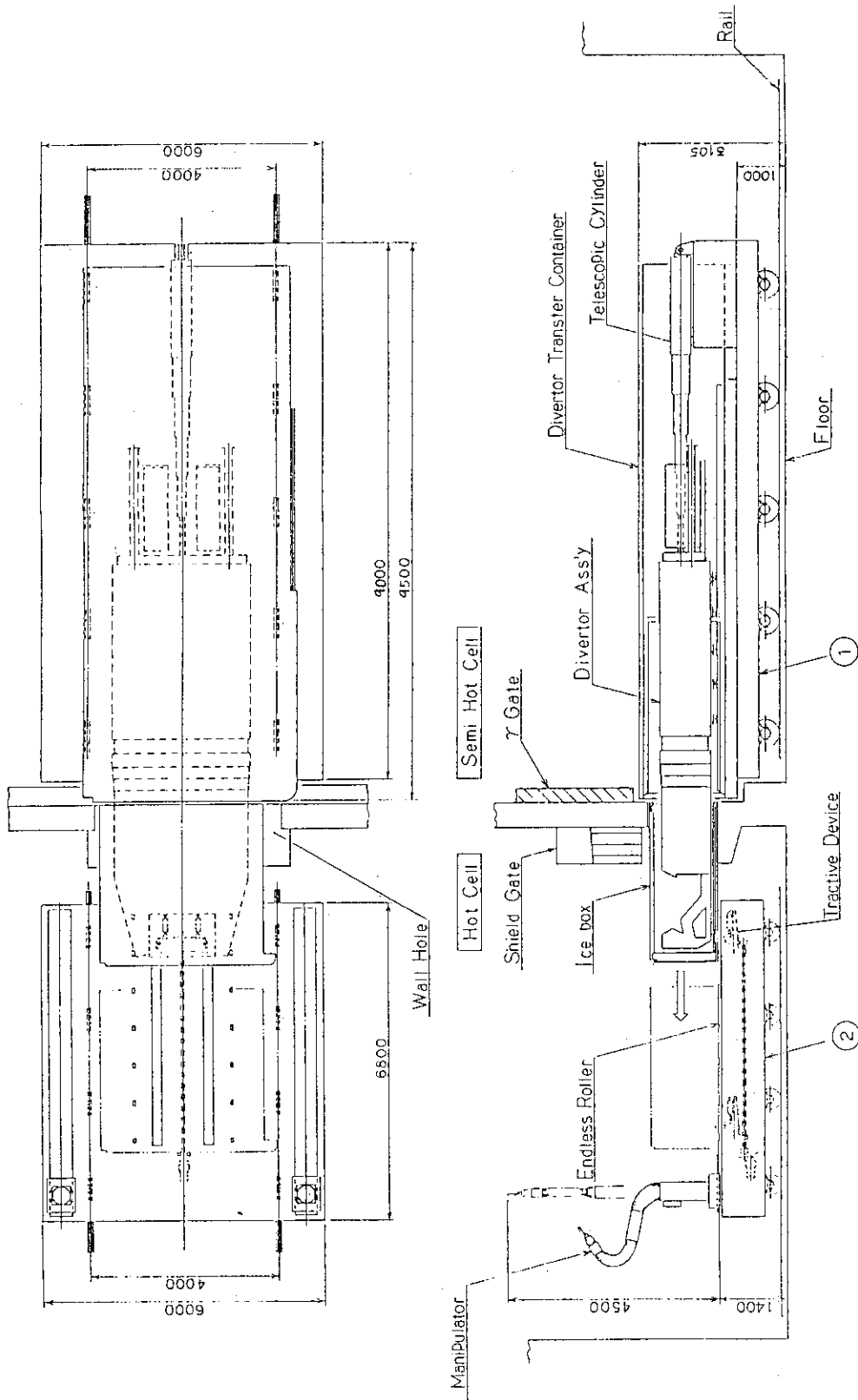
a) セミホットセル用台車

① 台 車

寸法 (全長×全幅×全高)	9000 mm × 6000 mm × 850 mm
台車重量	約 40 TON

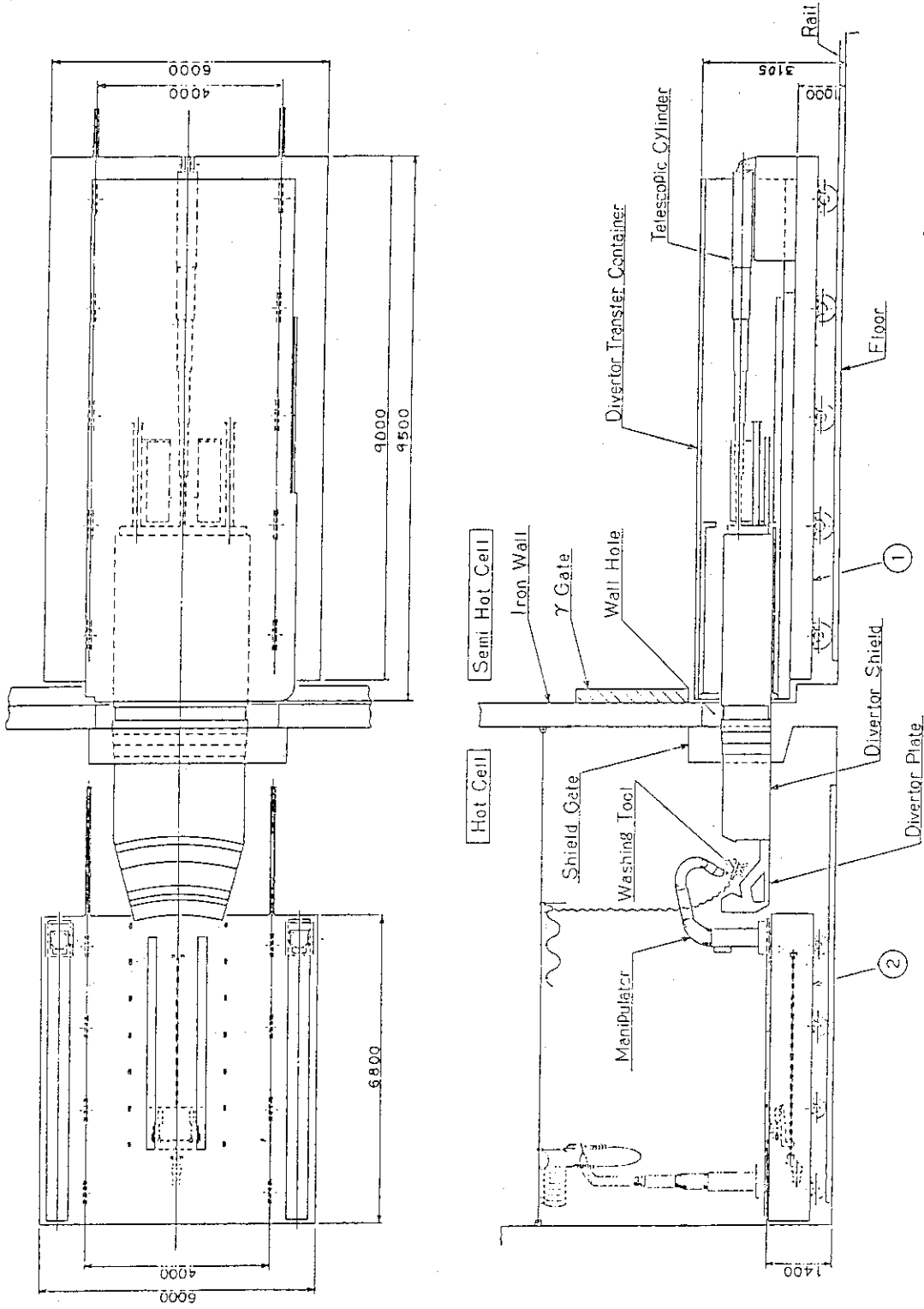
積載荷重	150 TON
走行方式	軌条自動走行
駆動方式	電動車輪駆動
走行速度	最大 3 m/分
② テレスコピックシリンダー	
型 式	円筒はめ込み式
推 力	5000 kg
ストローク	6000 mm
駆 動 源	水 圧
b) ホットセル用台車	
① 台 車	
寸法 (全長×全幅×全高)	6800 mm × 6000 mm × 1300 mm
台車重量	20 TON
積載荷重	10 TON
走行方式	軌条自動走行
駆動方式	電動車輪駆動
走行速度	最大 1 m/分
② アイスボックス引抜き装置	
型 式	揺動フック移動式
牽 引 力	500 kg
フック移動方式	ねじ駆動
③ マニピュレータ	
走行方式	軌条自動走行
寸 法	全高 4500 mm
重 量	約 100 kg
マニピュレータ構造	脊柱型
最大可搬重量	5 kg
軸 数	8 軸 (手首 3 軸 + アーム 4 軸 + 台車 1 軸)
c) その他	
① 除染工具	液体噴出型及びブラシ
② 乾燥ガス用工具	
③ 切断工具	カッタ方式, 集塵装置付き





2; Divertor Moving Vehicle for Hot Cell  
 1; Divertor Moving Vehicle for Semi Hot Cell

Fig. 4.3.1-1 Concept of divertor moving vehicles in decontamination cell (Phase-1)



2; Divertor Moving Vehicle for Hot Cell  
 1; Divertor Moving Vehicle for Semi Hot Cell

Fig. 4.3.1-2 Concept of divertor moving vehicles in decontamination cell (Phase-2)

#### 4.3.2 検 査

検査はFig. 4.2.2-1に示す Inspect I と Inspect II に別けられ、Inspect I は除染後の対象機器を検査し、①修理せずに再使用できるか、②損傷しているが修理が可能か、③損傷部の修理が不可能で廃棄せざるを得ないか、を判断し次の作業を決定する。また Inspect I は計画的に対象機器を炉本体から取出し、第一壁、ダイバータ板等の減肉量を測定し、プラズマ実験条件との関連を把握する作業も行う。

Inspect II は修理作業を終えた対象機器の検査で、修理部の状態観察および対象機器の健全性確認を行い、次の作業を決定する。

##### (1) 検査項目

検査対象として考えられる機器は、ダイバータ、可動遮蔽、RF加熱装置、およびテストモジュールである。他の対象機器に不具合が生じた場合は、用意した検査機器で対応できる範囲の作業は行うが、対応できない場合は、新規機器と交換することとする。

検査内容としては、①プラズマとの相互作用によって生ずる表面の損傷度合、減肉量等の検査、②熱歪、スウェリング等によって生ずる変形量の測定、③真空境界、水漏洩の検査、等が考えられる。

対象機器ごとの検査項目を Table 4.3.2-1 に示す。

##### (2) 検査機器

Table 4.3.2-1 の検査に必要な検査機を Table 4.3.2-2 に示す。

高放射化部分の検査は、完全遠隔操作で行われなければならない。このためホットセルに設置した修理作業用マニピュレータ等の設備に検査機器を搭載し検査を行う。尚、検査機器は耐放射線を考慮したものを用意する。低放射化部分の検査は作業者が検査機器を操作し行う。

尚、金相試験、機械試験等、対象機器から試験片を切出して行う試験は Inspect I, II には含まれず、解体後試験セルあるいは別施設のホットセルにて行われるものとし、Table 4.3.2-1 中に ( ) で示している。

Table 4.3.2-1 Inspection Item

	ダイバータ	可動遮蔽	R F 加熱装置	プランケット・テスト・モジュール
表面・減肉	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wアーマ部減肉検査</li> <li>Wアーマ材厚さ測定</li> <li>Wアーマ材の表面状態検査</li> <li>クラックを含む</li> <li>Wアーマ・Cu接合状態検査</li> <li>Wアーマ表面付着物の量, 材料の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第一壁減肉検査</li> <li>冷却管面までの距離</li> <li>第一壁表面状態検査</li> <li>クラックを含む</li> <li>第一壁部付着物の量, 材料</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ファラデーシールド, 反射鏡の表面状態検査</li> <li>ファラデーシールド減肉検査</li> <li>減肉厚測定</li> <li>放電部の損傷部検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第一壁外観検査</li> <li>減肉検査</li> <li>第一壁減肉厚測定</li> </ul>
全体寸法	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダイバータ遮蔽体を基準としてダイバート板各部変形量</li> <li>巾・高さ等の全体基本寸法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体基本寸法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体基本寸法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体基本寸法</li> </ul>
水漏洩	<ul style="list-style-type: none"> <li>リーク場所の特定</li> <li>非破壊検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リーク場所の特定</li> <li>非破壊検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リーク場所の特定</li> <li>非破壊検査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リーク場所の特定</li> <li>非破壊検査</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダイバータ板支持状態の検査 (ボルトの留め部のゆるみ等)</li> <li>非破壊放射線試験</li> <li>(金相試験)</li> <li>(機械試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他機器との接触面の焼付状態等</li> <li>非破壊放射線試験</li> <li>(金相試験)</li> <li>(機械試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非破壊放射線試験</li> <li>(金相試験)</li> <li>(機械試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非破壊放射線試験</li> <li>(金相試験)</li> <li>(機械試験 (Li<sub>2</sub>Oを含む))</li> <li>(化学試験 (主にLi<sub>2</sub>O))</li> </ul>

Table 4.3.2-2 Inspection Instrument

大項目	項目	対象構造物	検査装置	備考
表面・ 減肉	外観検査	全機器	ITV, ペリスコープ	
	壁面状態検査 (クラック有無も)	ダイバータアーマ材, 第1壁 ファラデーシールド, 反射鏡	ITV, ペリスコープ	
	接合状態検査	アーマ材(W+母材(Cu)) 接合部, その他溶接部	UT装置	
	肉厚検査	ダイバータアーマ材, 第1壁 ファラデーシールド	UT装置	0.1mmのオーダ
全体 寸法	寸法検査 (全体基本寸法)	全機器	ITV, ペリスコープ	ダイバータ板寸 法も含む
水漏洩 溶接性	リーク検査	全機器	Heリークディテクター	
	非破壊検査	全機器	UT装置	
その他	トルク管理	ダイバータ	トルクレンチ(工具)	
	接触面焼付状態	可動遮蔽	ITV	
	非破壊検査	全機器	X線装置	低放射化部分

## 4.3.3 分解・修理・組立

## (1) 基本設計

## 1) 分解・修理・組立方式

4.2.2項記載通り、各構造物の分解・修理・組立は、交換・汎用修理システム室にて行われる。プラズマに面する高放射化部（例えば、ダイバータ板、RF先端部、第1壁）はホットセルにて行われ、遮蔽体後部はセミホットセルにて行われる。各構造物はセミホットセル側からアクセスし、ホットセルに壁開口穴を通して挿入されるが、各構造物の形状が大きく異なるため、壁開口穴の共用化は困難である。従って、専用の壁開口穴を設けるものとする（ダイバータ用、内側、上部ガードリミタ用、可動遮蔽用、RF用の5穴）。尚テストモジュールの修理は想定していないが、検査はRF用開口穴を使用するものとする。各開口穴は、ホットセルスペース及び構造物形状上、オペレーションエリアから、ガードリミタ／RF用／ダイバータ用（ガードリミタ、RF、ダイバータは上下に配置）、可動遮蔽の順に配列するものとする。又、分解・交換・組立作業も同様に、各構造物専用の機器群にて行う。尚、修理に関しては、作業内容が不明確であるが汎用機器で対処するものとし、各構造物共用とした。

## 2) 分解・交換・組立

## a) 分解・交換・組立手順

ダイバータを例に、その交換手順を以下に説明する。その他の構造物の分解・修理・組立手順もほぼ同様である。

- ① セミホットセル台車にダイバータ積載のコンテナを搭載する。
- ② ダイバータ板をホットセル側に挿入する。
- ③ ダイバータ板を検査する。問題なければ⑬へとぶ。
- ④ 延長部－ダイバータ遮蔽間リップシールを解除する（セミホットセル内）。
- ⑤ 延長部－ダイバータ遮蔽間結合ボルトを解除する（セミホットセル内）。
- ⑥ 延長部を取外す（セミホットセル内）。
- ⑦ 冷却管を取外す（セミホットセル内）。
- ⑧ ダイバータ板を切離す（ダイバータ板－ダイバータ遮蔽間のリップシール解除：セミホットセル内）。
- ⑨ ダイバータ板を取外す（ホットセル内）。
- ⑩ 新ダイバータ板を取付ける（ホットセル内）。
- ⑪ ダイバータ板組立（⑧→④の逆手順）。
- ⑫ 新ダイバータを検査する。
- ⑬ ダイバータ板をコンテナ内に収納する。

尚、上記に基づくダイバータ交換手順図を、Fig 4.3.3 - 1に示す。

## b) 必要機器

上記作業に基づく、必要な遠隔操作機器は次のとおりである。

## i) 台車（ホットセル用、セミホットセル用）

4.3.1項同様、台車は可動遮蔽用とそれ以外用とし、以下に示す様に3台必要である。

- ① セミホットセル用ダイバータ台車：ガードリミタ、ダイバータコンテナ、RF、テスト

モジュール搭載用

② ホットセル用ダイバータ台車：ガードリミタ，ダイバータ板，RF，およびテストモジュール搭載用

③ セミホットセル用可動遮蔽台車：可動遮蔽コンテナ搭載用

ii) リップシール用切断装置及び溶接装置

これらの装置はセミホットセル内にて，延長部－ダイバータ遮蔽間及びダイバータ板－延長部間の各々のリップシールを切断，溶接するためのものであり，取付け・取外し作業はM/Sマニピュレータにより行なわれる。

3) 汎用修理

修理作業は汎用工具類により，ホットセル内で行い，修理容易なものを対象とする。尚，対処出来ない場合は放射性廃棄物として廃棄する。予想される修理作業を以下に示す。

- ① 溶接
- ② 切断
- ③ 表面研削
- ④ 配管曲げ加工

上記作業用工具のハンドリングはマニピュレータにて行うものとし，除染室用マニピュレータと同じものを使用する。走行方式は床面自走とする。

(2) 機器設計

1) 分解交換組立用機器

a) 構成と機能

ダイバータ交換の概念図をFigs.4.3.3-2, 3に示す。その他の構造物に対する機器の構成と機能もほぼ同様である。

i) セミホットセル用ダイバータ台車

台車の構成，機能は除染セミホットセル用台車と同様であり，ここでは説明を省略する。

ii) ホットセル用ダイバータ台車

移動台，車輪，走行駆動装置，ダイバータ板把持装置（ダイバータ取扱い時）より構成されており，移動台は遠隔操作により，軌条を任意に移動，停止が可能な台車である。

ダイバータ板把持装置は，台車の内部に組込まれており，壁穴よりホットセルに挿入されたダイバータ板の引抜き・挿入ができ，更に引抜いたダイバータ板を台車上で移動させることができる。ダイバータ板の移動を容易とするため，台車上面に，エンドレスローラーを適当な間隔で配置している。

iii) リップシール用切断装置及び溶接装置

各装置の概念をFig.4.3.3-4 Detail "A"に示す。各装置ともレールを自動走行しつつ，リップシールの切断又は溶接を行う。走行用のレールの取付・取外はマニピュレータにより行なわれるものとする。

b) 特徴

- ① 台車は自走式のため，建家側にドライブエリアおよび牽引設備等を必要としない。
- ② 台車は軌条走行のため，経路が一定であり，停止位置決めが容易である。

## c) 基本仕様

## i) セミホットセル用ダイバータ台車

本台車仕様は除染室用のセミホット用台車と基本的に同一である。(4.3.1「除染」参照)

## ii) ホットセル用ダイバータ台車

## ① 台車

寸法(全長×全幅×全高)	6500 mm × 3500 mm × 1900 mm
台車重量	約 12 TON
積載荷重	20 TON
走行方式	軌条自動走行
駆動方式	電動車輪駆動
走行速度	最大 1 m/分

## ② ダイバータ板把持装置

型式	把持工具移動式
牽引力	1000 kg
工具移動方式	ねじ駆動

## iii) その他

① 切断装置 集塵装置付き

② 溶接装置

尚、可動遮蔽台車の仕様は省略する。

## 2) 汎用修理用機器

汎用修理用機器の概念図を Fig. 4.3.3 - 3 に示す。

## a) ホットセル用台車

ホットセル内には、前述のホットセル用ダイバータ台車が配置される。

## b) マスタ・スレーブ・マニピュレータ

ホットセル内のオペレーションエリアには、構造物の検査、修理、解体等に必要な各種工具および機器用の保管台が設置されている。それらの上方の壁面には壁貫通気密形マニピュレータ(マスタ・スレーブ・マニピュレータ)が設けられており、外側より作業者がマニピュレータを操作することによって、保管されている工具又は機器を工具搬送台車に積降ろすることができる。

## c) マニピュレータ

脊柱構造型のマニピュレータであり、自走式台車に搭載され、床面敷設のレール上を走行して所定の場所へ移動できる。本マニピュレータはオペレーションエリアに用意された各種の工具および機器を把持して、構造物の検査、修理、分解等の作業を行うものである。また工具保管台の工具および機器に直接アクセスすることもできる。更には、台車等のメンテナンスにも使用できる。

## d) 工具搬送台車

工具および機器の搬送を目的とする台車であり、床面敷設のレール上を走行して所定の場所へ移動できる。

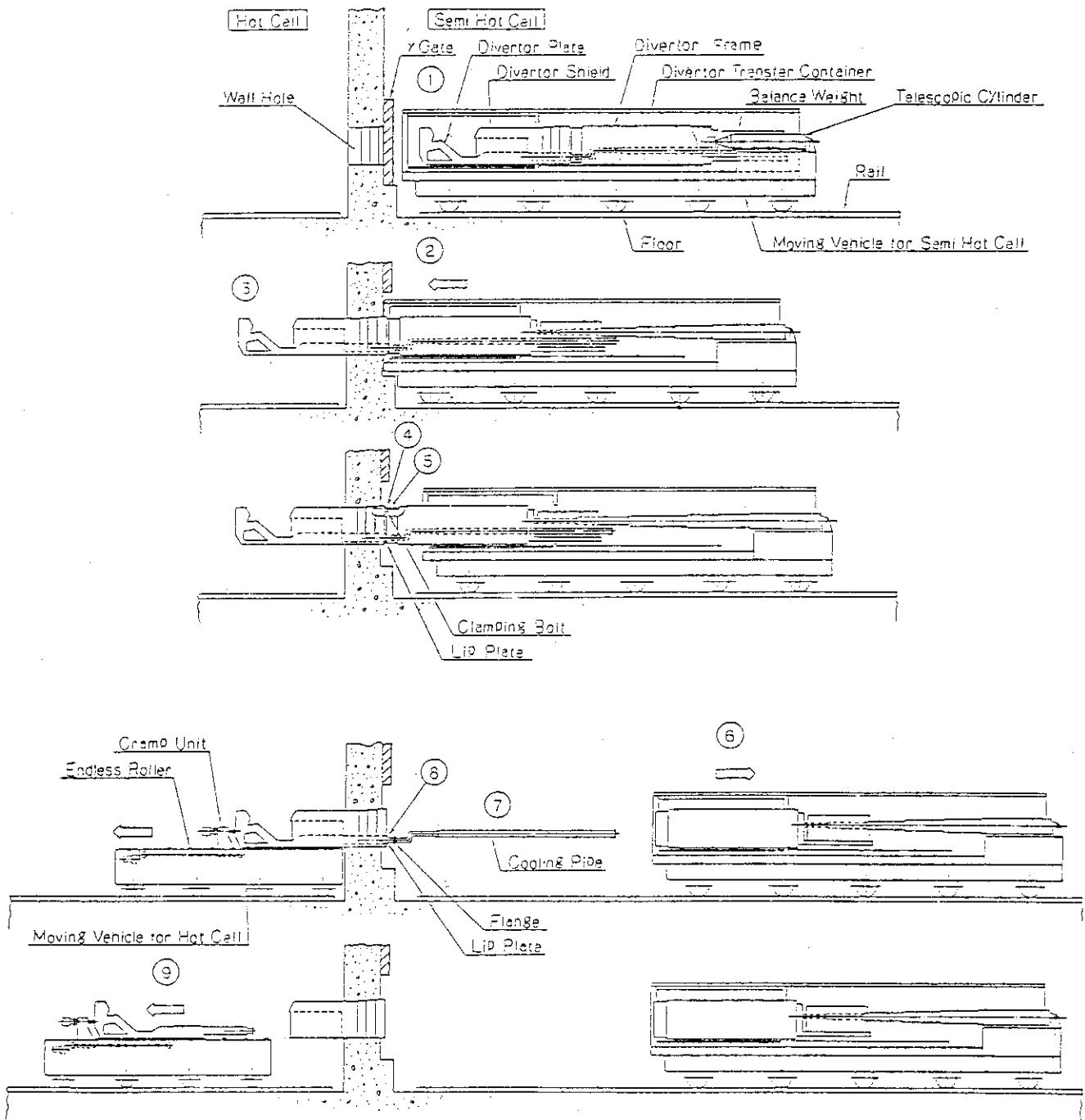


e) レール及びターンテーブル

上述のマニピュレータ及び工具搬送台車は、本レール上を走行するが、ホットセルのスペース上、レールに曲率を持たせるのは困難と考えられる。このため、各コーチ部及び分岐部には、ターンテーブルを設置する。

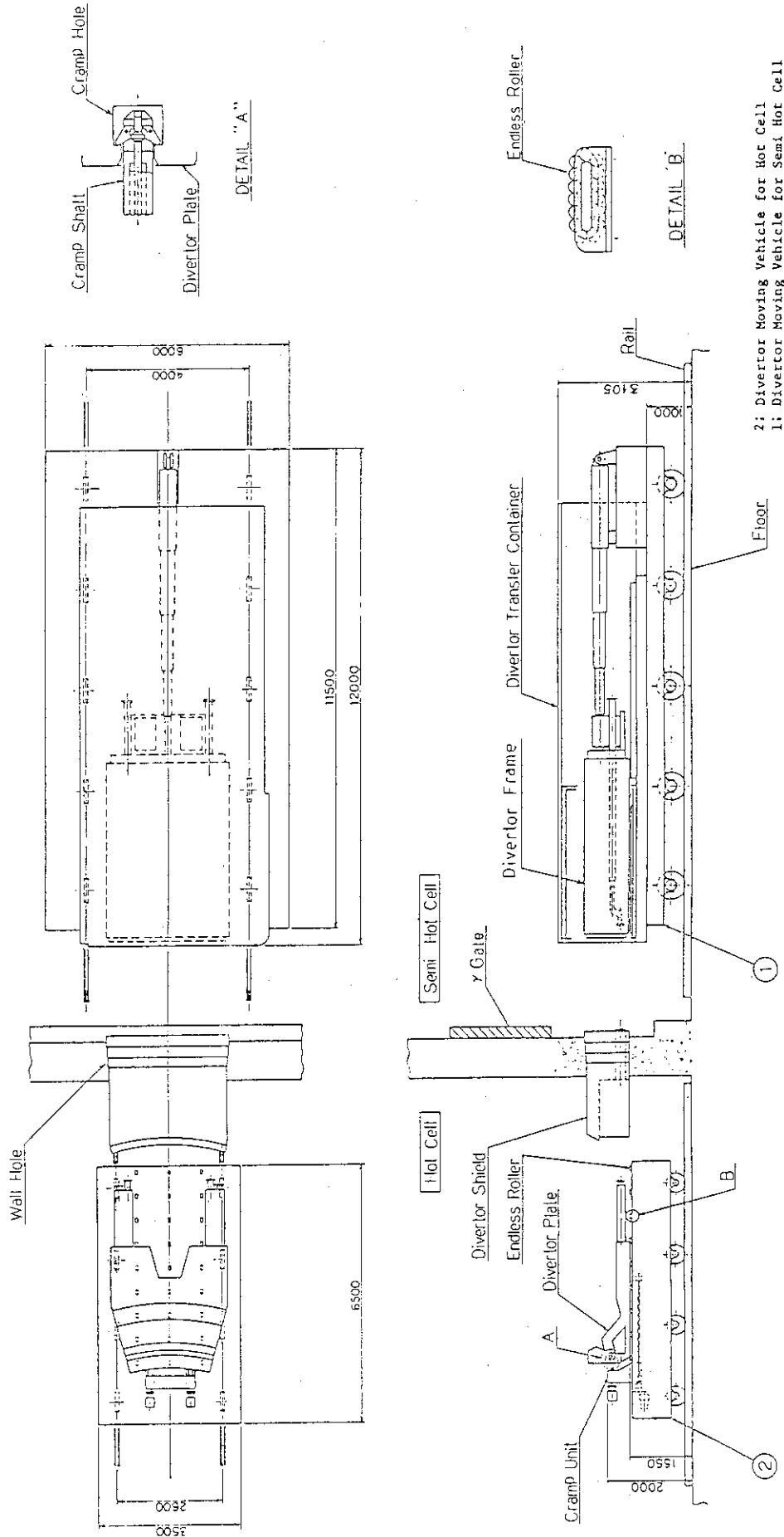
f) その他

- ① 工具一式
- ② 保管台



⑩ Reconstruction of Divertor : Reversal of the Described Procedure

Fig. 4.3.3-1 Replacement procedure of divertor plate



2: Divertor Moving Vehicle for Hot Cell  
 1: Divertor Moving Vehicle for Semi Hot Cell

Fig. 4.3.3-2 Concept of diverter moving vehicles in repair cell

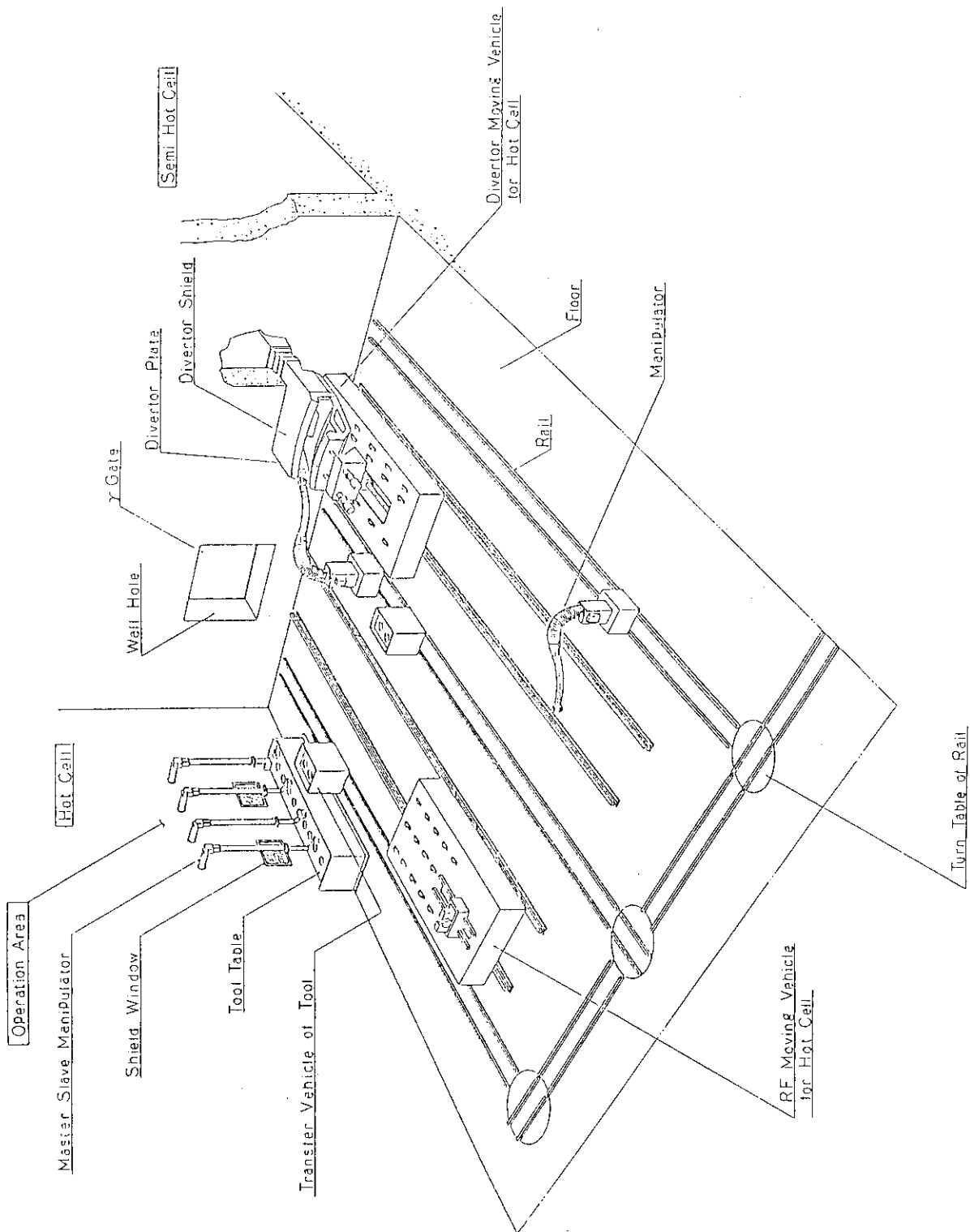


Fig. 4.3.3-3 Bird's-eye view of general repair system

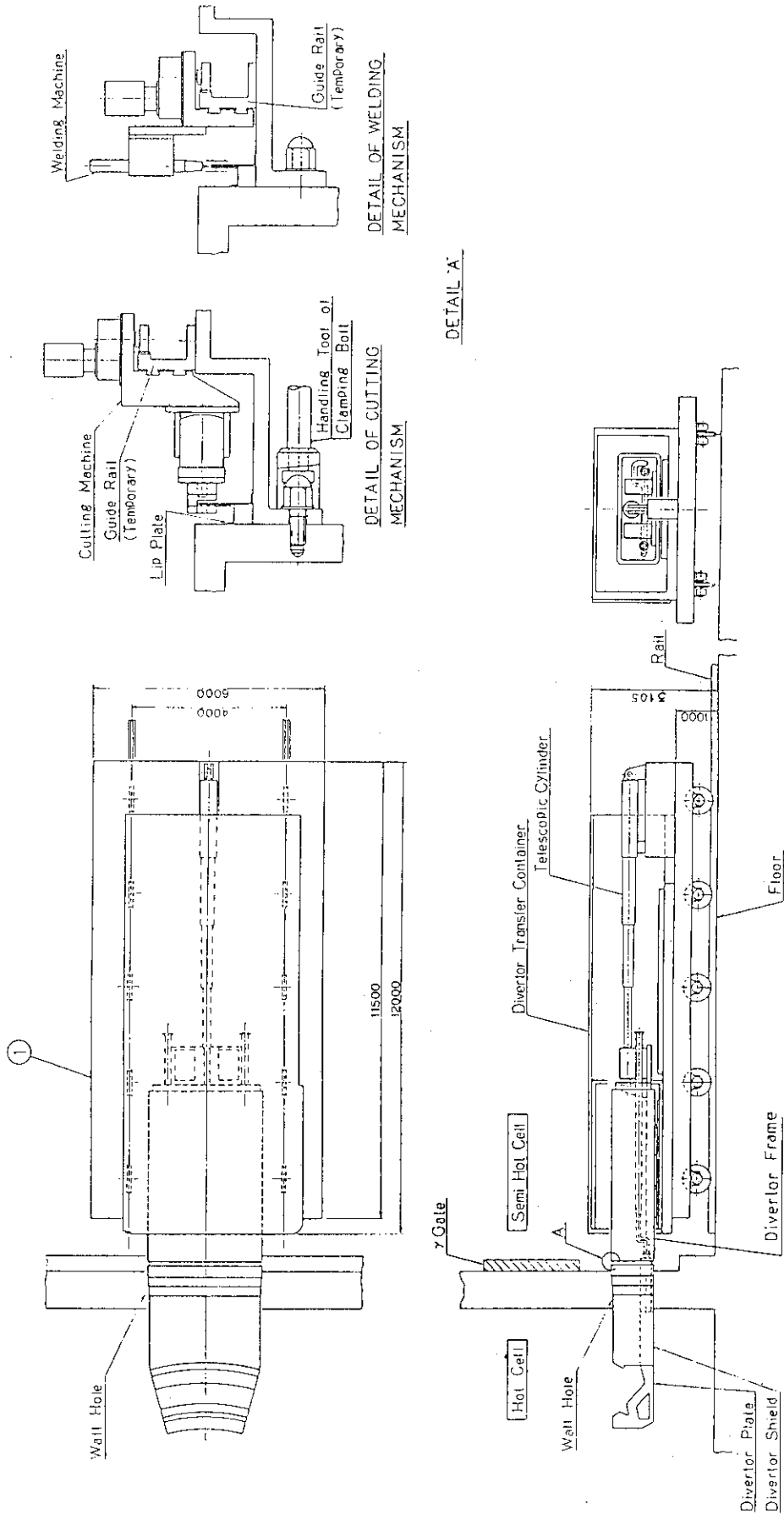


Fig. 4.3.3-4 Concept of divertor moving vehicle for semi-hot cell in repair cell

## 4.3.4 一時保管

## (1) 基本設計

## 1) 保管方式

除染・修理・交換・検査された各構造物はコンテナに積載された状態で、セミホットセルから保管室に搬入し、一時保管する。各コンテナの寸法、数量等を考慮しつつ、次に示す様に、保管スペースの効率化を図った。

## ① ダイバータ保管

ダイバータ用保管室 上部：3台

ダイバータ用保管室 下部：3台

## ② 上部ガードリミタ保管

ガードリミタ用保管室 : 6台

## ③ 可動遮蔽保管

可動遮蔽用保管室 : 1台

## ④ RF加熱装置保管

RF用保管室 : 2台

又、各コンテナの保管室への搬入出は天井クレーンにて行うが、この際、重量物であるコンテナの振れ防止のため、セミホットセルでは水平方向からのワイヤ張りをを行い、又、保管室ではガイドレールを壁に装備しておくものとする。なお、このガイドレールはコンテナの搬入案内として機能する。又、ハッチの取外し、取付けも天井クレーンにて同様にして行う。

## (4.3.6 「移送」参照)

## 2) 保管手順

セミホットセルに搬入されてきたコンテナの保管手順を以下に示す。

- ① セミホットセルー保管室間のハッチを取外す。
- ② コンテナを天井クレーンにて吊り下げながら、保管室に搬入する。
- ③ 保管室フロアに設置された搬送テーブルにコンテナを載せる。
- ④ 搬送テーブルにより、コンテナを奥に送り込む。
- ⑤ 取外したハッチを取付ける。

尚、ダイバータ積載のコンテナのダイバータ用保管室上部ー下部間の昇降及び、搬送テーブルへの移送は、リフトテーブルにて行うものとする。

## 3) 必要機器

上記作業に基づく必要機器は次のとおりである。但し、ハッチ・吊り工具等は他室共通のものであり、後節4.3.6「移送」を参照のこと。

## a) リフトテーブル

本装置はダイバータ積載のコンテナのダイバータ用保管室上部ー下部間昇降並びに、後述の搬送テーブルへの移送を行うためのものである。

## b) 搬送テーブル

本装置はコンテナを保管室内へ引込む又は、引出すためのものであり、各室フロアに設置される。

## (2) 機器設計

## 1) 構成と機能

保管室の概念図を Fig. 4.3.4-1, リフトテーブルの概念図を Fig. 4.3.4-2 に示す。

## a) リフトテーブル

塔載テーブル, リフティング装置, ガイドレールより構成されており, ダイバータを収納したコンテナを昇降・搬送する専用リフトである。

塔載テーブルは, 同調して伸縮できる, 4個の水圧ジャッキで構成されるリフティング装置によって昇降し, 任意の位置で停止出来る。又, テーブルの内部には, チェーンコンベア式のコンテナ搬送装置が組込まれており, テーブルに積載された, ダイバータ用コンテナを移動させることができる。尚, コンテナの移動を容易にするため, テーブル上面に, エンドレスローラーを適当な間隔で配置している。

ガイドレールはコンクリート壁面に支持されており, テーブルの昇降を案内し, 水圧ジャッキへの横荷重の負荷を防止する。

## b) ダイバータ用保管室

コンクリートで囲まれたダイバータ専用保管室であり, 床面には, ダイバータを収納したコンテナの搬送テーブルが敷設されている。その構造, 機能は, 前述のリフトテーブルと同様に, 上面にはエンドレスローラーを配置し, テーブル内部にはチェーンコンベア式のコンテナ搬送装置が組込まれている。

前述のリフトテーブルに積載されたコンテナは, リフト側のコンテナ搬送装置により移動させ, 保管室のテーブル上に乗り移す。次いで, 保管室側のコンテナ搬送装置でコンテナを引込み, 所定の場所へ移動させることによって, ダイバータ用コンテナの保管室への搬入ができる。搬出はその逆の動作によって行う。

ダイバータの崩壊熱は空気自然対流で冷却する。したがって発熱量を考慮した空調を行う。

## c) 可動遮蔽用保管室

コンクリートで囲まれた, 可動遮蔽の専用保管室であり, ダイバータ保管室と同様のコンテナ搬送テーブルが床面に敷設されており, 1Fのハッチよりテーブル上に吊り下ろされたコンテナを, 所定の場所へ搬入できる。搬出はその逆の動作によって行う。

1FハッチとB1Fの間のコンテナの昇降は, 1Fの300 ton 天井クレーンで行うため, コンテナ昇降中の振れ止め, および搬送テーブルの定位置に, コンテナを積載するために, ハッチの下方に, コンクリート壁面より支持した, コンテナ昇降用ガイドレールを設けている。

可動遮蔽の冷却はコンテナの冷却設備で行う。冷却設備から出る熱は空調により除く。

## d) RF用保管室

RF専用保管室であり, 基本的には可動遮蔽用保管室と同様である。ただし, 崩壊熱は空気自然対流で冷却し, 室内空気は空調により一定温度に維持する。

## e) ガードリミタ保管室

基本的には可動遮蔽, RF用保管室と同様であり, RF保管室上部の階でコンクリートで囲まれた上部ガードリミタ専用保管室である。

## 2) 特 徴

- ① ダイバータ用保管室は2段棚式保管を採用しており、デットスペースが少ない。  
 ② 各保管室とも、遠隔自動操作によるコンテナ搬送装置を装備したテーブルが、即そのまま保管台となっているため、搬送用付帯設備が不要である。

## 3) 基本仕様

## a) リフトテーブル

テーブル寸法 (全長×全幅)	10000 mm × 6000 mm
積載重量	100 ton
昇降ストローク	最大 6000 mm
昇降速度	最大 0.5 m/分
搬送装置	牽引力 5 ton 牽引速度 最大 3 m/分

## b) ダイバータ用保管室

型 式	2段棚式自動搬送形保管室
保 管 数	ダイバータ 6台
搬送装置	型式 チェーン駆動式 寸法 (全長×全幅×全高) 30.5 m × 6 m × 0.8 m 牽引力 5 ton 牽引速度 最大 3 m/分

## c) 可動遮蔽用保管室

型 式	自動搬送形保管室
保 管 数	可動遮蔽 1台
搬送装置	型式 チェーン駆動式 寸法 (全長×全幅×全高) 6.25 m × 10.5 m × 0.8 m 牽引力 20 ton 牽引速度 最大 3 m/分

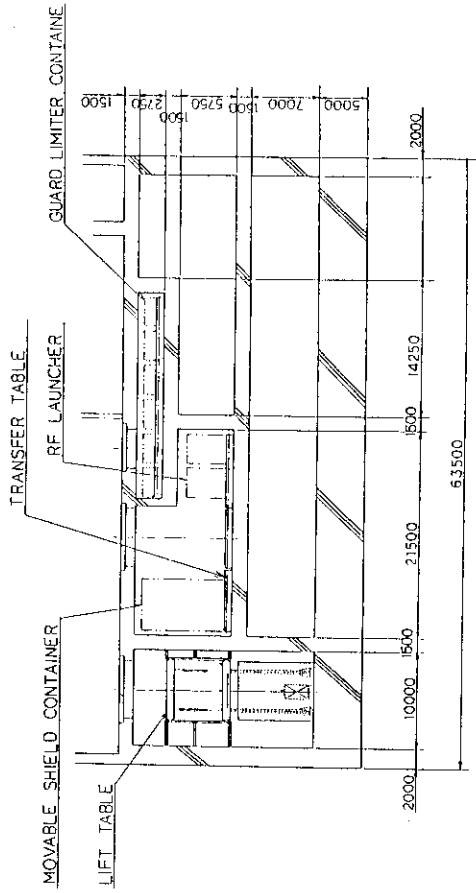
## d) RF用保管室

型 式	自動搬送形保管室
保 管 数	RF加熱装置 2台
搬送装置	型式 チェーン駆動式 寸法 (全長×全幅×全高) 7.5 m × 10.5 m × 0.8 m 牽引力 10 ton 牽引速度 最大 3 m/分

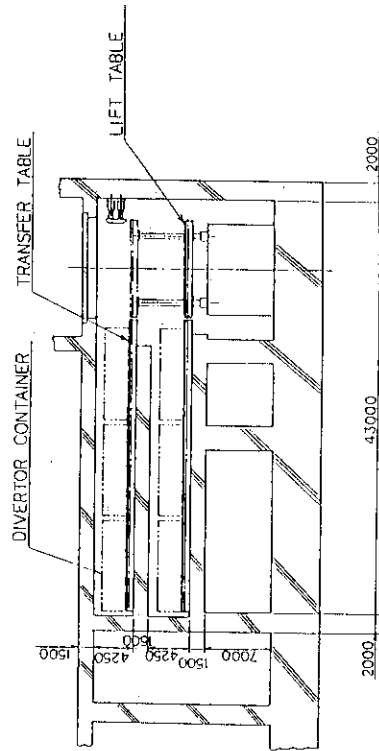
## e) ガードリミタ用保管室

型 式	自動搬送形保管室
保 管 数	上部ガードリミタ 6台
搬送装置	型式 チェーン駆動式 寸法 (全長×全幅×全高) 21 m × 10.5 m × 0.8 m 牽引力 2 ton 牽引速度 最大 3 m/分

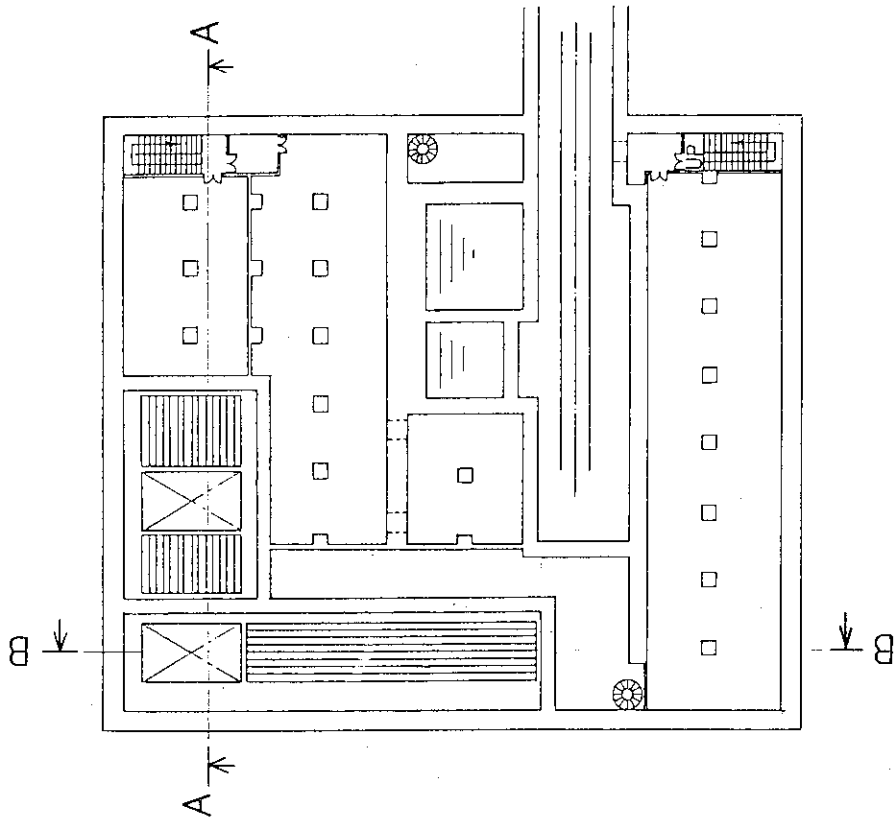




SECTION AA



SECTION BB



B1F

Fig. 4.3.4-1 Concept of temporary storage cell

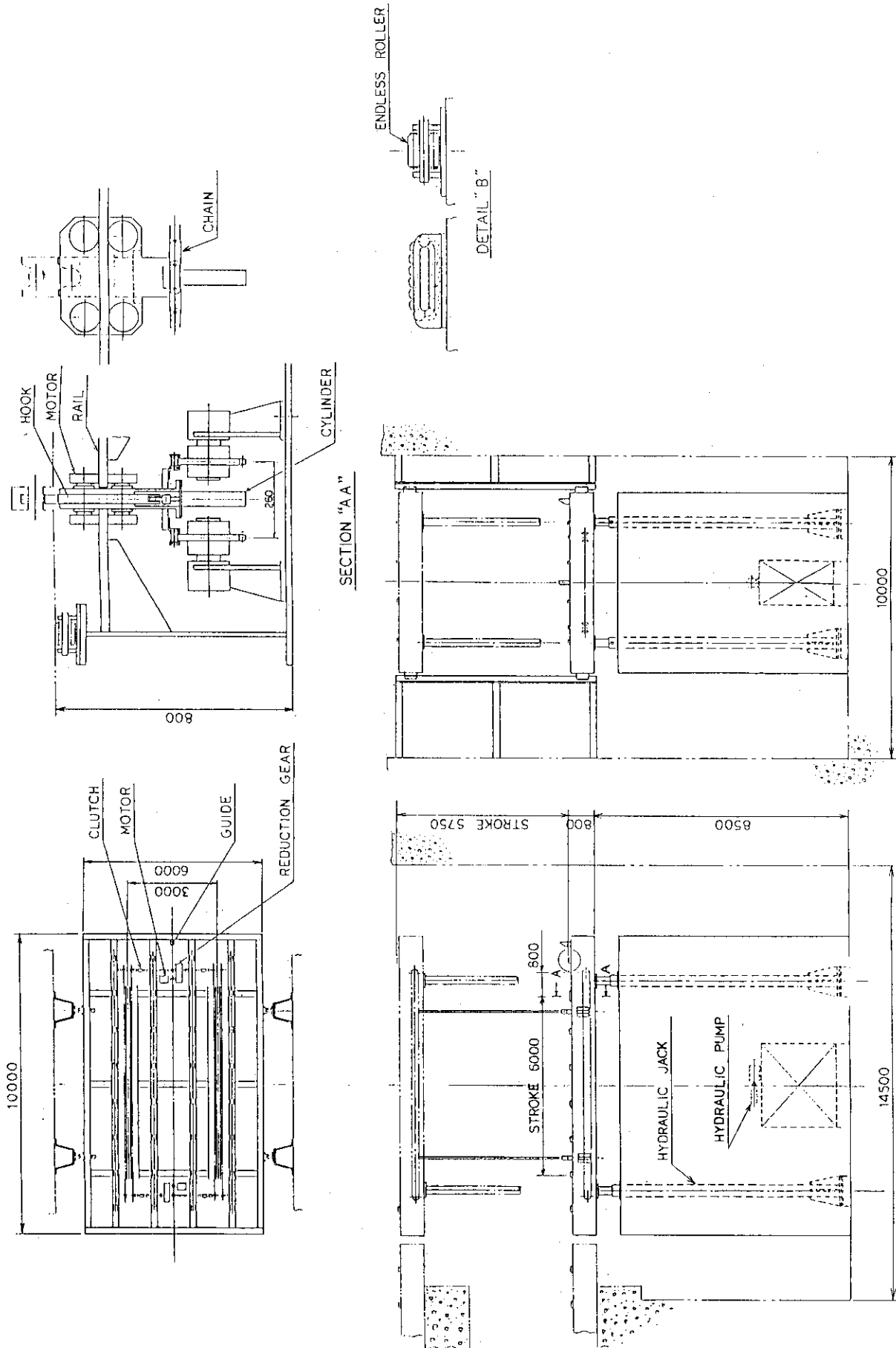


Fig. 4.3.4-2 Concept of lift table

#### 4.3.5 解体・試験

本項では、4.2.3項での基本構想に基づき解体セルおよび試験セルの概念設計を行なう。

##### (1) 基本設計

###### 1) 大型固体廃棄物切断システム

大型固体廃棄物の解体処理に利用可能な解体工法は種々考えられるが、本大型固体廃棄物の解体工法として水中プラズマ・アーク切断法を採用した（詳細はJAERI-M 86-149, 7.3.5項参照）。

プールの大きさおよび切断装置の能力は、切断対象物の最大重量物である可動遮蔽体を考慮して決定した。

プール内での水中プラズマ・アーク切断システムの概念をFig. 4.3.5-1に示す。大型固体廃棄物の移送は、分解修理セルと解体セルの移送を兼用した300 ton クレーンで行う。切断時は切断対象物の形状を考慮した支持構造物により安定を確保する。

溶断ドロスの回収方法としては、切断後架台下部に沈澱した溶断ドロスを回収する方式や切断時又は切断後プール水を循環することにより回収する方式等がある。本設計では、連続回収や水中浮遊懸濁物の回収の容易さ等を考慮して後者の方式を採用している。回収装置は、プール底の架台を兼用し、架台内部のすり鉢状回収装置よりプール水とともに強制回収を行い、フィルタにより溶断ドロス、水中浮遊懸濁物を分離するシステムとした。

###### 2) ブランケットテストモジュールのLi<sub>2</sub>O回収システム

Li<sub>2</sub>O回収方法としては湿式回収法と乾式回収法が考えられ、それぞれ一長一短があるが、本回収システムとしては、処理の容易さ、照射後の試験等を考慮して、乾式回収法を採用した（詳細はJAERI-M 86-149, 7.3.5項参照）。

Li<sub>2</sub>O回収システムおよびテストモジュールは、下記のような配慮を行うものとする。

- ① Li<sub>2</sub>O回収エリアから他のエリアへのトリチウム拡散を防止するため、および作業中放出されるトリチウムの回収を容易にするため、Li<sub>2</sub>O回収エリアを他と隔離した気密室とする。
- ② テストモジュール容器内部のLi<sub>2</sub>Oペブルが回収し易い内部構造、および切断し易い取出口構造となるように、テストモジュール設計が行われているものとする。

##### (2) 主要機器および設備配置

###### 1) 解体セル

解体セルは、廃棄対象物の移送ハンドリングを行う設備、水中切断システム、減容切断設備、増殖材回収システム、除染設備等から構成される。Table 4.3.5-1に主要設備、機器類を示す。又、セル内の主要設備類の配置をFigs 4.3.5-2~4に示す。セル上部に設置された300 ton クレーンは、分解・修理セルおよび解体セル内移送を兼用し、中段のパワーマニプレータは、解体セル内での小物のハンドリングおよび移送を行う。減容・切断設備は、プレス装置とハックソーから成り、小物・雑固体廃棄物の圧縮減容、切断を行う。ハックソーは試験片の一次加工も兼ねている。増殖材回収システムは、増殖材回収の容易さと安全性等を考慮して乾式回収法を採用しており、トリチウム拡散防止の観点から本システムは他の設備と隔離した気密室に設置されている。

## 2) 試験セル

試験セルでは主に金相試験を行ない、その処理工程および試験内容を Fig. 4.3.5 - 5 に示す。又、セル内設備配置および主要機器を Fig. 4.3.5 - 6 に示す。解体セルより搬入される試験体の大きさは最大でも 500 mm × 500 mm × 500 mm 程度とし、2 次加工等の精密加工は他の試験機器と隔離されたセルに設置されているハックソー、ミーリングマシン等で行われる。研磨・洗浄は回転台上に設置され、同一遮蔽窓よりマニプレータにより操作される。金相写真撮影等は鉛セルにて行う。セル中央に設けられたハッチは地下の搬送通路に通じており、セル内機器のメンテナンス等を行うための出入口となっている。

Table 4.3.5-1 Main equipments in dismantling cell

<p>(a) 移送、ロドリツグ設備 インベリクル マスタ・スレ-マニピュレータ ロ-マニピュレータ (b) 水中切断 水中方スアーク切断装置 水中方スアーク溶断機 水中作業用マニピュレータ 水中作業用ツール 溶断ガス回収装置 切断対象機器解体装置 水中ロドリツグ装置 ITV</p>	<p>(e) 除染設備 スクリュー 回転テーブル( 架台) 洗浄水供給装置 洗浄水排水装置 乾燥装置 水拡散防止装置 汚染チェンジ装置 ロ-マニピュレータ ロドリツグ装置 ITV 超音波洗浄装置</p>	<p>吊上容量 500 ton 吊上容量 10 ton (標準型) 負荷容量 200 kg (天井走行型) 型式 方スリ移行方式 フレコベック プームの先取付が出来る 1000mm X 1100mm X 1400mm (緊急時、人間がアクセスの板厚も考慮) 架台を兼用 ツール 底はツール 水と強強制回収 ツール 常設用、マニピュレータ付 防水構造</p>	<p>水噴射方式 使用圧力 70kgf/c m<sup>2</sup>(max) 流量 洗浄面0.1 m<sup>2</sup>当り 平均1.5 l/sec 架台寸法 6000mmφ 最大積載荷重 300ton 昇圧ポンプ、吸上ポンプ、フィルター 液体廃棄物処理系と結合 送風機、分配弁( 洗浄水供給系と共用 ) ツール 上面設置 スクリュー(サブロドリツグ程度) 移動可能、防水構造 超音波周波数 18~90kHz 洗浄液; 石鹼水、弱酸性、水 スクリュー 単一振動性スクレイパー アクリル-カーボン(ロドリツグ内部) 施回装置付き 遠隔駆動カマ 受像装置及び 遠隔操作装置( 操作室 ) 水銀灯、ナトリウム灯 室内照度 約200ルクス 材質; 蟻酸入り鉛ガラス 円筒ろ過フィルター、直列型 ろ過能力 40μ( 第1 段用)、10μ( 第2 段用)</p>
<p>(c) 減浴、切断設備 ガス装置 バック (d) 増殖材回収システム(セル内) 他の増殖材回収装置(ベタル) 切断装置 増殖材回収容器 容器シール装置 マスタ・スレ-マニピュレータ ロ-マニピュレータ</p>	<p>(f) 汚染チェンジ装置 (g) 音響モニタ-装置 (h) 室内ロドリツグ装置 (i) 照明装置 (j) 遮蔽窓 (k) 降液フィルター (l) 真空掃除機</p>	<p>油圧式単軸プレス 被処理寸法 1000mm X 700mm X 1800mm 油圧駆動方式 切断能力 スプルス 鋼板厚さ 試料加工( 一次加工) 空間と隔離は気密室に設置する(可) 乾式回収法 対象容器寸法( 外寸) 590mm φ X 590mm X 3 (缶) 300mm φ X 500mm X 1 (缶)</p>	<p>移動可能、防水構造 超音波周波数 18~90kHz 洗浄液; 石鹼水、弱酸性、水 スクリュー 単一振動性スクレイパー アクリル-カーボン(ロドリツグ内部) 施回装置付き 遠隔駆動カマ 受像装置及び 遠隔操作装置( 操作室 ) 水銀灯、ナトリウム灯 室内照度 約200ルクス 材質; 蟻酸入り鉛ガラス 円筒ろ過フィルター、直列型 ろ過能力 40μ( 第1 段用)、10μ( 第2 段用)</p>

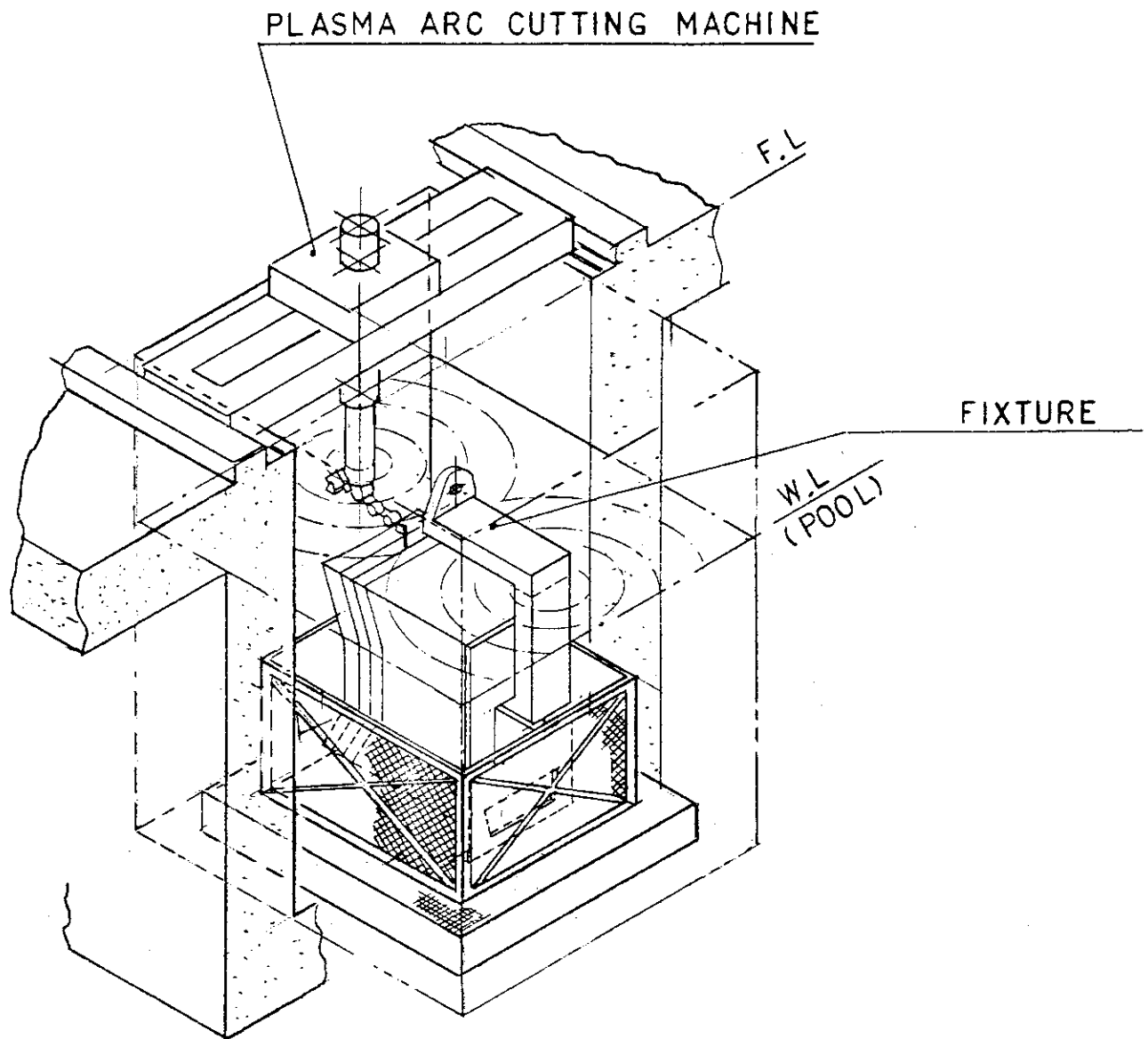


Fig. 4.3.5-1 Underwater plasma arc cutting system

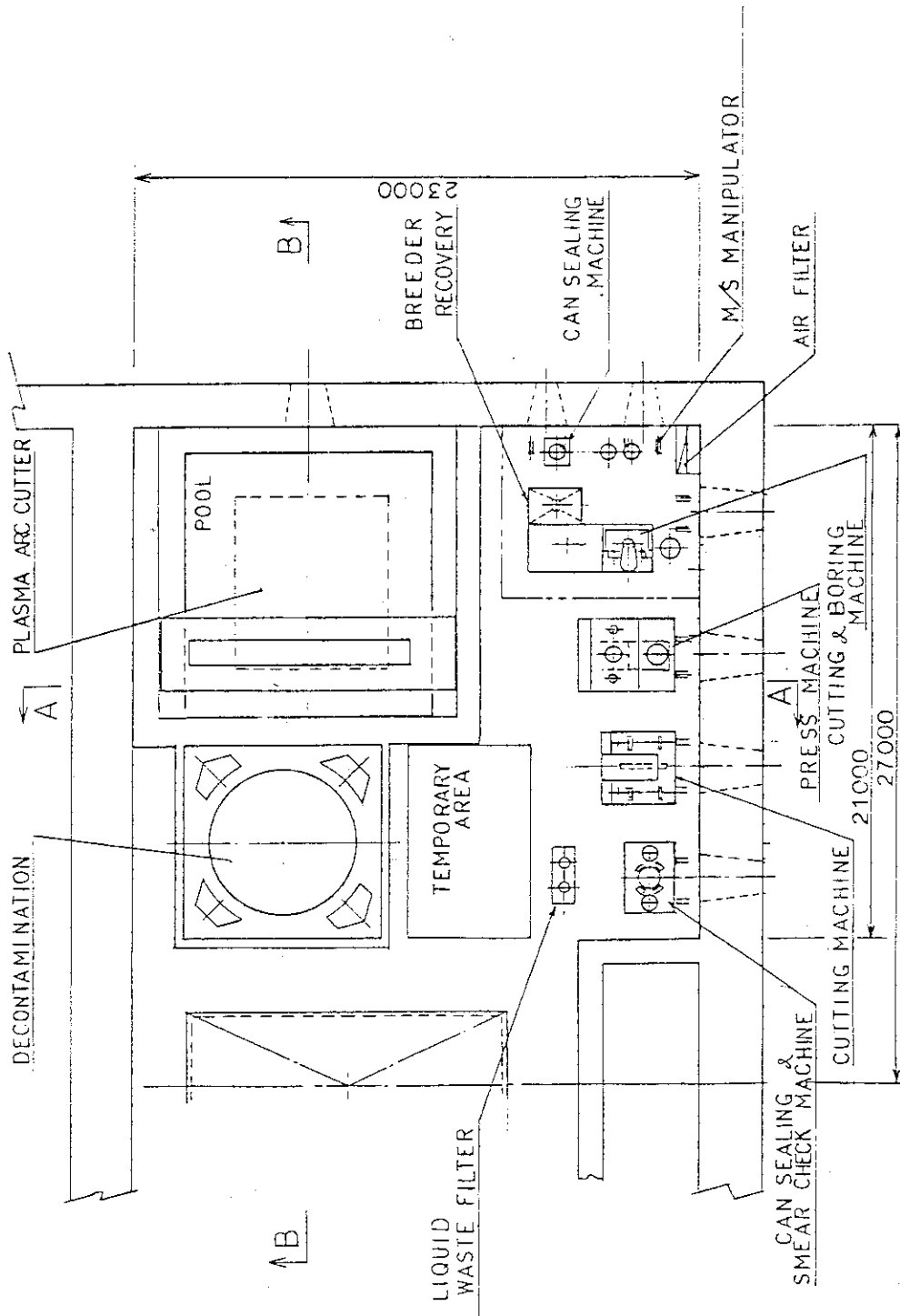


Fig. 4.3.5-2 Layout of systems and equipments in dismantling cell

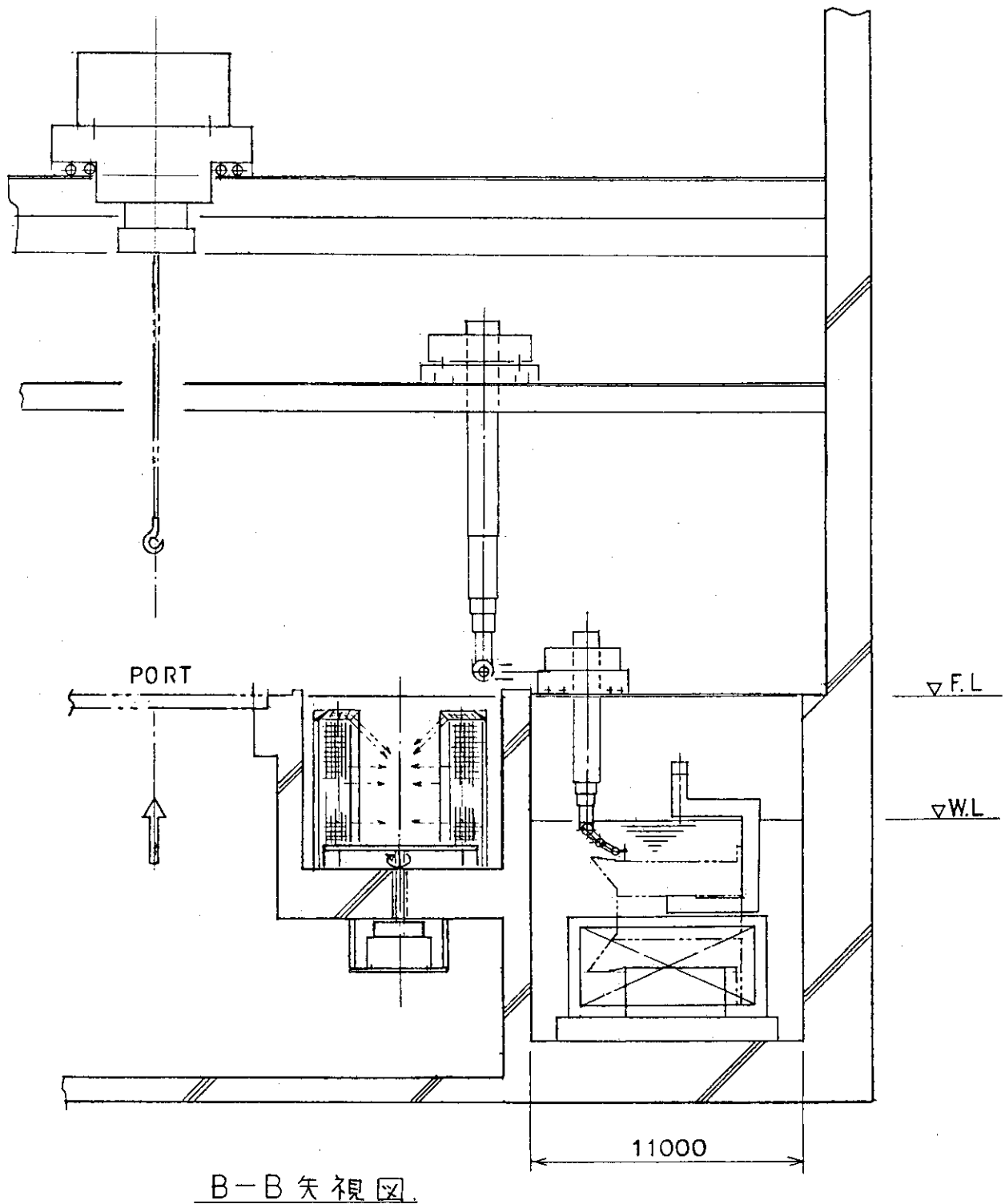


Fig. 4.3.5-3 Layout of systems and equipments in dismantling cell



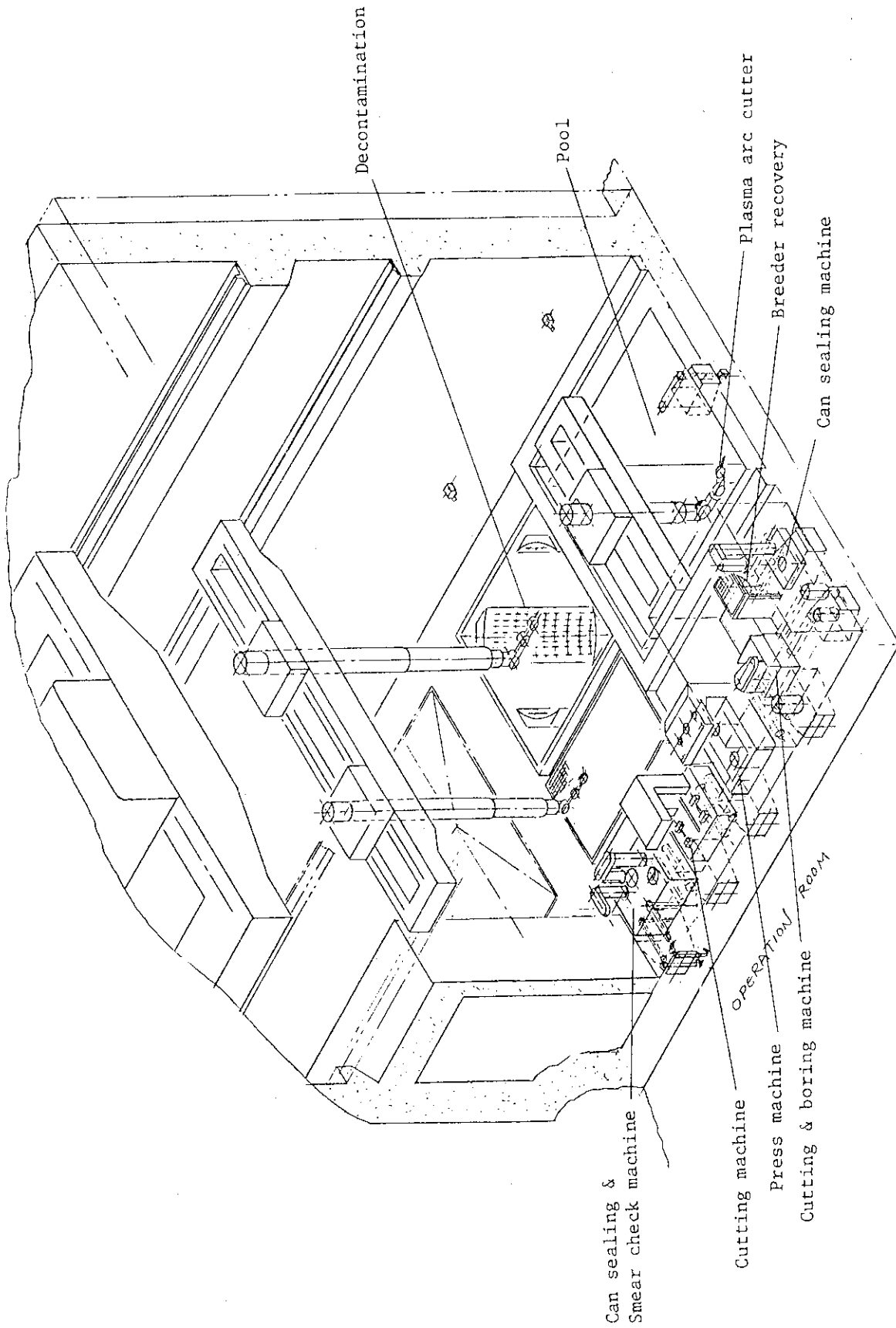


Fig. 4.3.5-4 Dismantling cell configuration

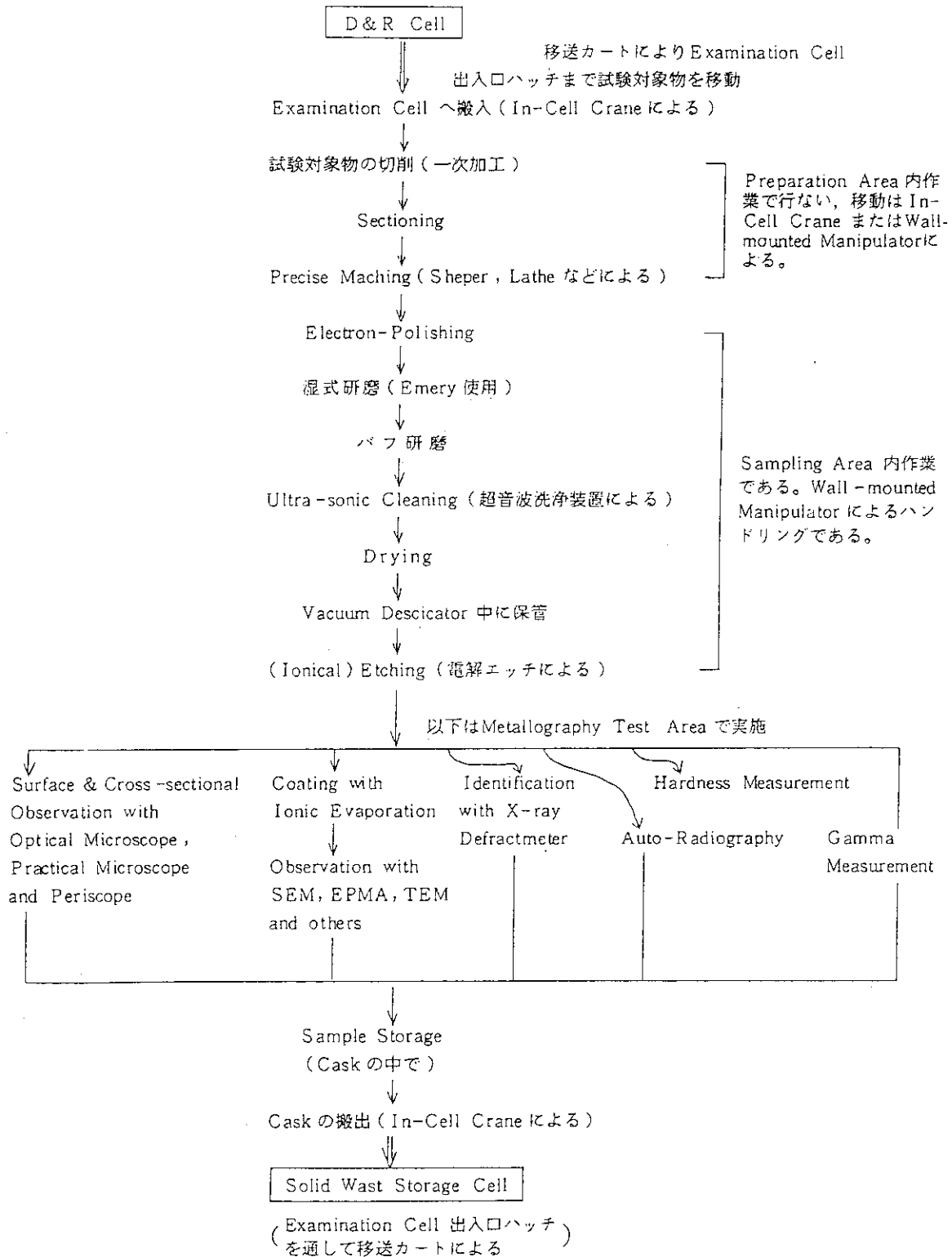


Fig. 4.3.5-5 Basic treatment flow sheet in examination cell (Metallography test)

Preparation

- 1 Hack Saw
- 2 Milling Machine
- 3 Capsule Cutting Machine
- 4 Jig & Tool
- 5 Storage Area

Sampling

- 6 Electro-Polisher
- 7 Plane-Polisher
- 8 Ultrasonic Cleaner
- 9 Dryer
- 10 Vacuum Desicator
- 11 Electro-Etcher
- 12 Liquid Waste Filter

Metallography

- 13 Auto-Radiograph
- 14 Gamma Scanning System
- 15 X-ray Diffraction Analyser
- 16 Scintillation Counter
- 17 Electron Probe Micro-Analyser(EPMA)
- 18 Scanning Electron Micrograph(SEM)
- 19 Transmission Electron Micrograph(TEN)
- 20 Optical Microscope
- 21 Practical Microscope
- 22 Hardness Tester
- 23 Hydrometer
- 24 Periscope
- 25 Coating Aparatus

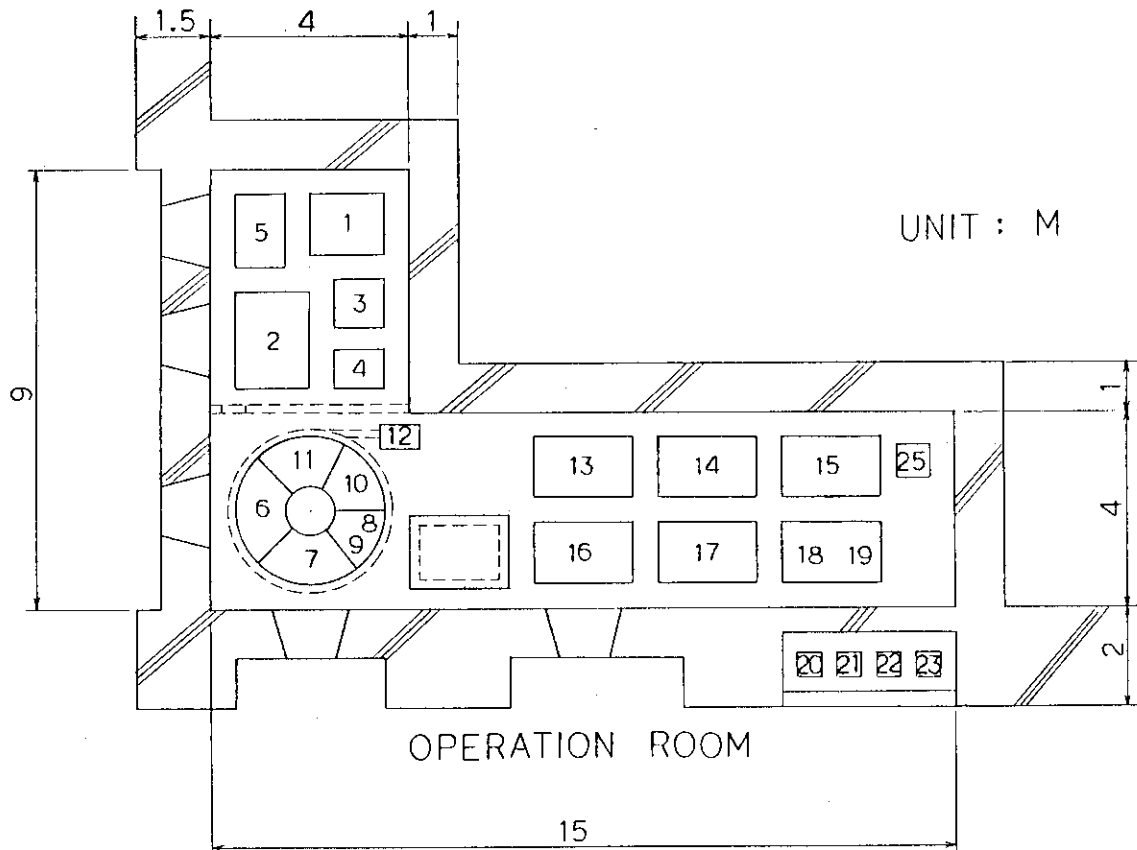


Fig. 4.3.5-6 Layout of systems and equipments in examination cell

## 4.3.6 移 送

## (1) 基本設計

## 1) 物流概要

4.2節に記載したように、本体建家から解体修理建家に搬入される各構造物積載のコンテナはまず、搬入出口で移送台車に搭載され、Fig.4.2.2-1のフローに従い、除染、分解・修理・検査、保管等が実施される。前節まで断片的に各作業手順を示したが、ここでは、解体修理建家における一連の物流に関して、ダイバータを例に挙げて、概要を以下に述べる。

- ① コンテナを移送台車に搭載する。(搬入出口)
- ② コンテナを除染室に搬入する。(除染室)
- ③ ダイバータ板の除染を実施する。(除染室)
- ④ コンテナを除染室から検査・修理システム室に移送する。
- ⑤ ダイバータ板の検査・交換を行なう。(検査・修理システム室)
- ⑥ コンテナを保管室に搬入する。(保管室)
- ⑦ コンテナを一時保管する。(保管室)
- ⑧ 一時保管後、コンテナを保管室から分解・修理システム室に搬入し、移送台車に搭載する。
- ⑨ コンテナを炉本体建家に搬出する。

## 2) 必要機器

上記一連の作業は、遠隔操作で実施しなければならないが、このために必要な移送用機器(前節までの機器は除く)は次のとおりである。

## a) 移送台車

本台車は各コンテナを搭載し、移送するためのものである。なお、万一の駆動部故障に備え、台車の非常移動(揚重設備守備範囲まで)機能を有するものとする。

## b) 扉

炉室からの移送通路Ⅰの除染セル入口には扉が設けられる。扉はスライド式で自動開閉式となっている。また、遮蔽機能も有する。

## c) ハッチ

各コンテナの保管室、移送通路Ⅱへの搬入・搬出は、本ハッチを通して行なうものとし、最大ハッチ開口寸法は最大コンテナ寸法より、6 m(W)×10.5 m(L)とする。ハッチ重量(最大ハッチ約180 ton)及び各室のスペース等を考慮して、本ハッチの開閉操作は自動開閉とはせず、天井クレーンによりハッチの取外し・取付けを行なうものとする。

## d) 吊り工具

ハッチ及び各コンテナは本吊り工具を介することにより、天井クレーンにて安定に吊り上げ、吊り下げられる。本工具のハッチ及び各コンテナへの取付け・取外しは各室設置の天井走行型パワーマニピュレータにて行なえる程度に自動化するものとする。

## e) 振れ防止ワイヤ引張装置(電動ウインチ)

天井クレーンによる吊り時、各コンテナ及びハッチはかなり振らつくことが予想される。この振れ防止のため、水平方向から対象物をワイヤ張りするものとし、本装置にて行なう。従っ

て本装置は各室に設置するものとする。又、ワイヤの吊り工具、コンテナ、ハッチへの取付け・取外しはパワーマニピュレータにて行なうものとする。

f) ガイドレール

本装置は各構造物積載のコンテナの移送台車への搬入案内及びコンテナの振れ防止用のものであり、不要時は壁側に退避出来るものとする。各ハッチ下部に設けるものとする。

g) パワーマニピュレータ

本マニピュレータは、吊り工具又はワイヤの、コンテナ・ハッチへの取付け・取外し作業その他重量物取扱作業を行なうためのものであり、各室に設置される。その走行方式は、床面スペースが少ないこと、高所作業が予想されること等から、天井走行型とする。

h) バンパ

本装置は移送台車へのコンテナ搭載・荷降時に、コンテナが直接、壁にあたるのを防止するための緩衝器であり、上記ガイドレールを設置しないハッチ下部の壁側に設置するものとする。

i) 天井クレーン (300 ton)

天井クレーンは各コンテナの吊り上げ等を行なう揚重設備であり、ホットセルとセミホットセルに装備される。

j) レール (移送台車用)

本レールは移送台車用の軌条であり、平坦・直線軌条とする。

(2) 機器設計

1) 構成と機能

各機器の概念図又は鳥瞰図を

移送台車の概念図	Fig. 4.3.6 - 1
移送台車の鳥瞰図	Fig. 4.3.6 - 2
ハッチの概念図	Fig. 4.3.6 - 3
吊り工具の概念図	Fig. 4.3.6 - 4

に示す。

a) 移送台車

移動台、車輪、走行駆動装置、非常引抜き装置より構成されており、各構造物コンテナを積載して、遠隔操作により、軌条を任意に移動、停止が可能な台車であり、走行駆動装置は、電動機、減速機、電磁ブレーキ、メカクラッチ等より成る。

非常引抜き装置は、電動ウィンチ、ワイヤロープ、端末金具、クラッチ開放軸より構成され、移送台車が自走不能と成った場合、台車を揚重可能なエリアまで移動させる装置である。その動作順序は、電動ウィンチを起動することにより、ワイヤロープの巻き力で端末金具の止めを開放し、次いで端末金具でクラッチ開放軸を押すことにより伝導軸と車軸を継いでいるメカクラッチを開放し、駆動車輪をフリーにさせる。更にワイヤロープの巻き力で台車を所定の場所へ移動させる。

b) 扉

遮蔽扉、扉スライド駆動装置、シールパッキンで構成されており、除染セミホットセルの移送通路 I の入口に設けられる。

## c) ハッチ

鋼構造でコンクリートを覆った蓋と、シールパッキンで構成されており、1階床に設けられたコンテナ昇降口を密閉する蓋である。シールパッキンは蓋側に固定している。保管空間上、蓋は2分割式としており、各々の上面には、300 ton天井クレーンで吊り下げを行うためのロック穴が設けられている。

## d) 吊り工具

300 ton天井クレーンのフック着脱装置、天秤、コンテナおよびハッチのロックシャフトで構成されており、各種構造物のコンテナおよびハッチの共用吊り工具である。

クレーンフックの着脱装置は、フックの吊り具用穴に連結ピンを挿入させる装置である。

ロックシャフトは、吊り工具とコンテナ、またはハッチを連結させる金具であり、コンテナまたはハッチに設けられたロックホールに、ロックシャフトを挿入し、次いでシャフトを60度回転させることによって、連結させる。その操作は、パワーマニピュレータによって行なう。

## e) 振れ防止ワイヤ引張装置

2個の巻取りドラムを持つ電動ウィンチと2本のワイヤロープ、連結金具で構成されており、コンテナおよびハッチ等の搬送時の振れ防止を行なうものである。

ワイヤロープの先端の連結金具は、前述吊り工具とワイヤロープを連結させるものであり、パワーマニピュレータで容易に着脱可能な、ワンタッチ式の金具である。

ワイヤロープの巻取り速度は、300 ton 天井クレーンの走行速度と同調させる。

## 2) 特 徴

- ① 移送台車は自走式のため、建家側にドライブエリアおよび牽引設備等を必要としない。
- ② 移送台車は軌条走行のため、経路が一定であり、停止位置決めが容易である。
- ③ 吊り工具を共用化している。
- ④ 振れ防止ワイヤ引張装置を設けているため、コンテナのハンドリングが安定する。
- ⑤ どのハッチ部にも、ハッチ下部にはコンテナの昇降ガイドレールを設けているため、常にコンテナを定位置に着地させることができ、コンテナの搬送およびハンドリングを容易にしている。

## 3) 基本仕様

## a) 移送台車

寸法 (全長×全幅×全高)	12 m × 6 m × 1.5 m
台車重量	約 50 ton
積載荷重	最大 400 ton
走行方式	軌条自動走行
駆動方式	電動車輪駆動
走行速度	最大 10 m/分
非常引抜き装置	ロープ張力 10 ton
	ロープ巻取り速度 3 m/分

## b) 遮蔽扉

型 式	スライド気密型電動開閉式
-----	--------------

寸 法	開口部 $8^W \text{ m} \times 10^H \text{ m}$
	遮蔽厚さ 500 mm
材 質	炭素鋼, 表面ステンレス鋼板
c) ハッチ	
① ダイバーク, RF / 可動遮蔽保管室用	
寸 法 (全長×全幅×全高)	11.5 m × 7 m × 0.8 m
重 量	約 180 ton
分割数	2
② ガードリミタ保管室用	
寸 法 (全長×全幅×全高)	11.5 m × 5 m × 0.8 m
重 量	約 130 ton
分割数	2
③ 移送通路Ⅱ用	
寸 法 (全長×全幅×全高)	8 m × 7 m × 0.8 m
重 量	約 130 ton
分割数	1
d) 吊り工具	
寸 法 (全長×全幅×全高)	4.5 m × 4.6 m × 2.7 m
重 量	約 55 ton
e) 振れ防止ワイヤ引張装置	
ワイヤロープ	2 本
巻取り力	5 ton
巻取り速度	300 ton 天井クレーンに同調
f) その他	
① ガイドレール	
② パワーマニピュレータ	天井走行型
③ ダンパ	
④ 天井クレーン	300 ton 用

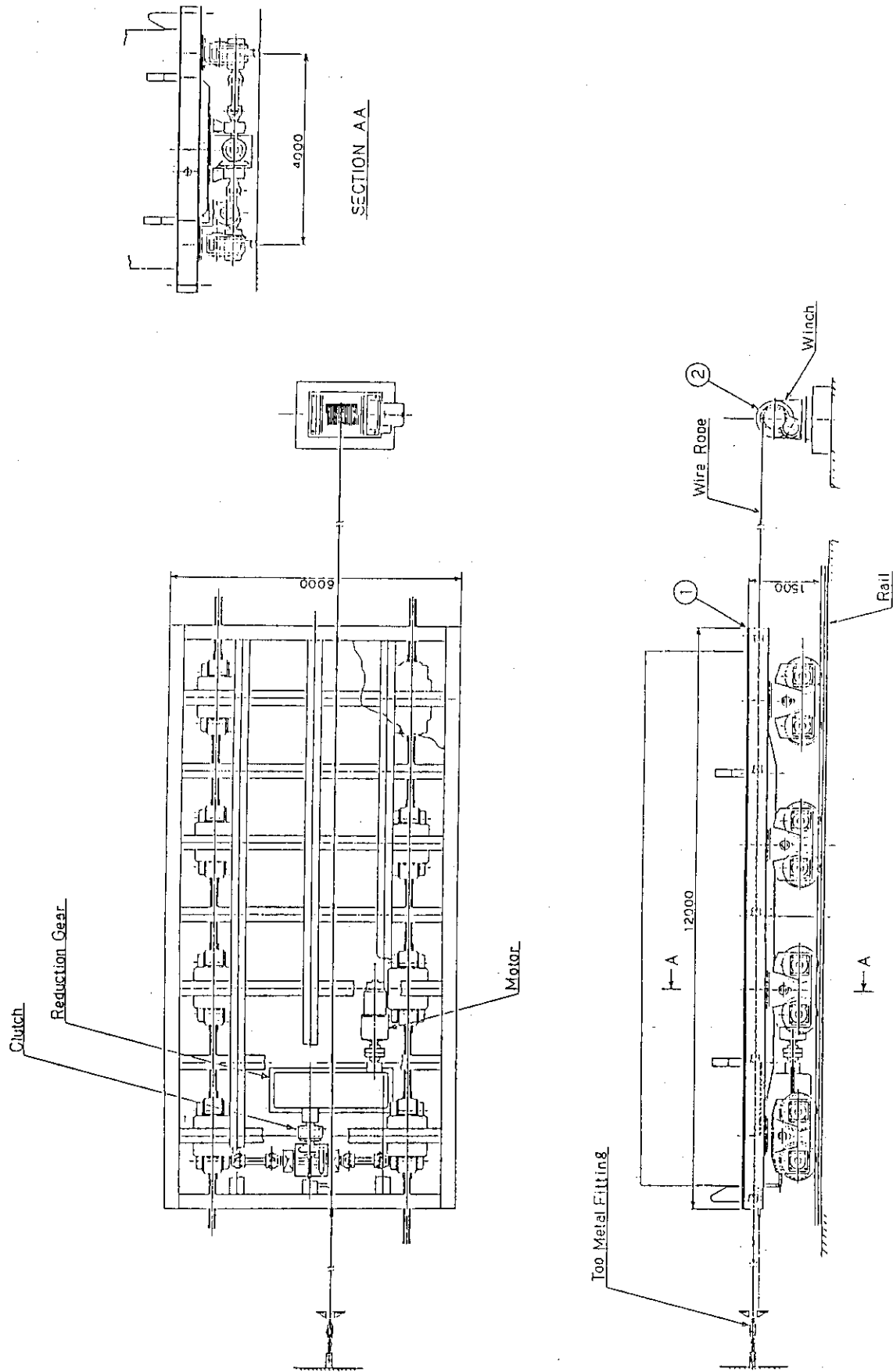


Fig. 4.3.6-1 Concept of transfer vehicle



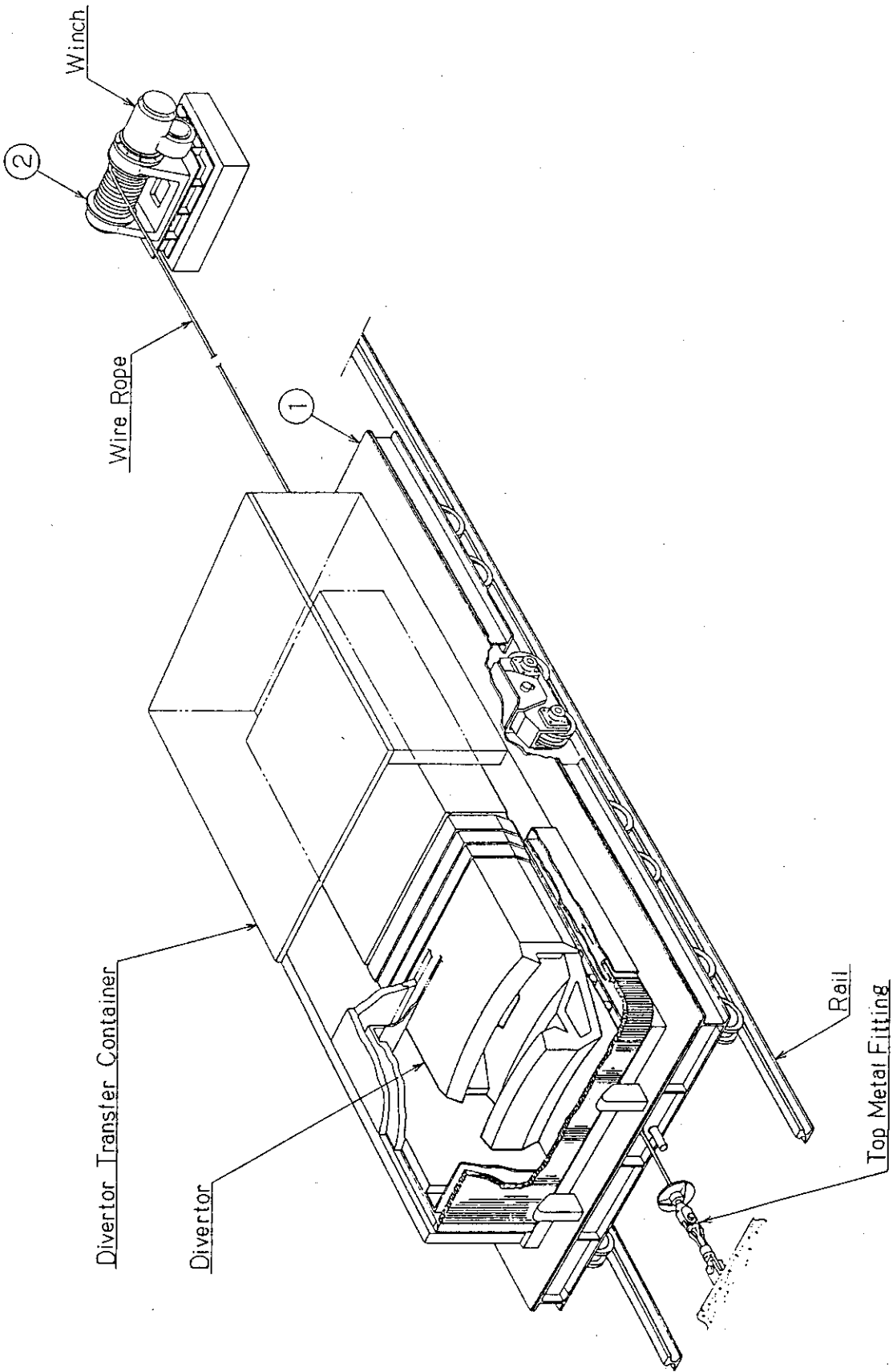


Fig. 4.3.6-2 Bird's-eye view of transfer vehicle

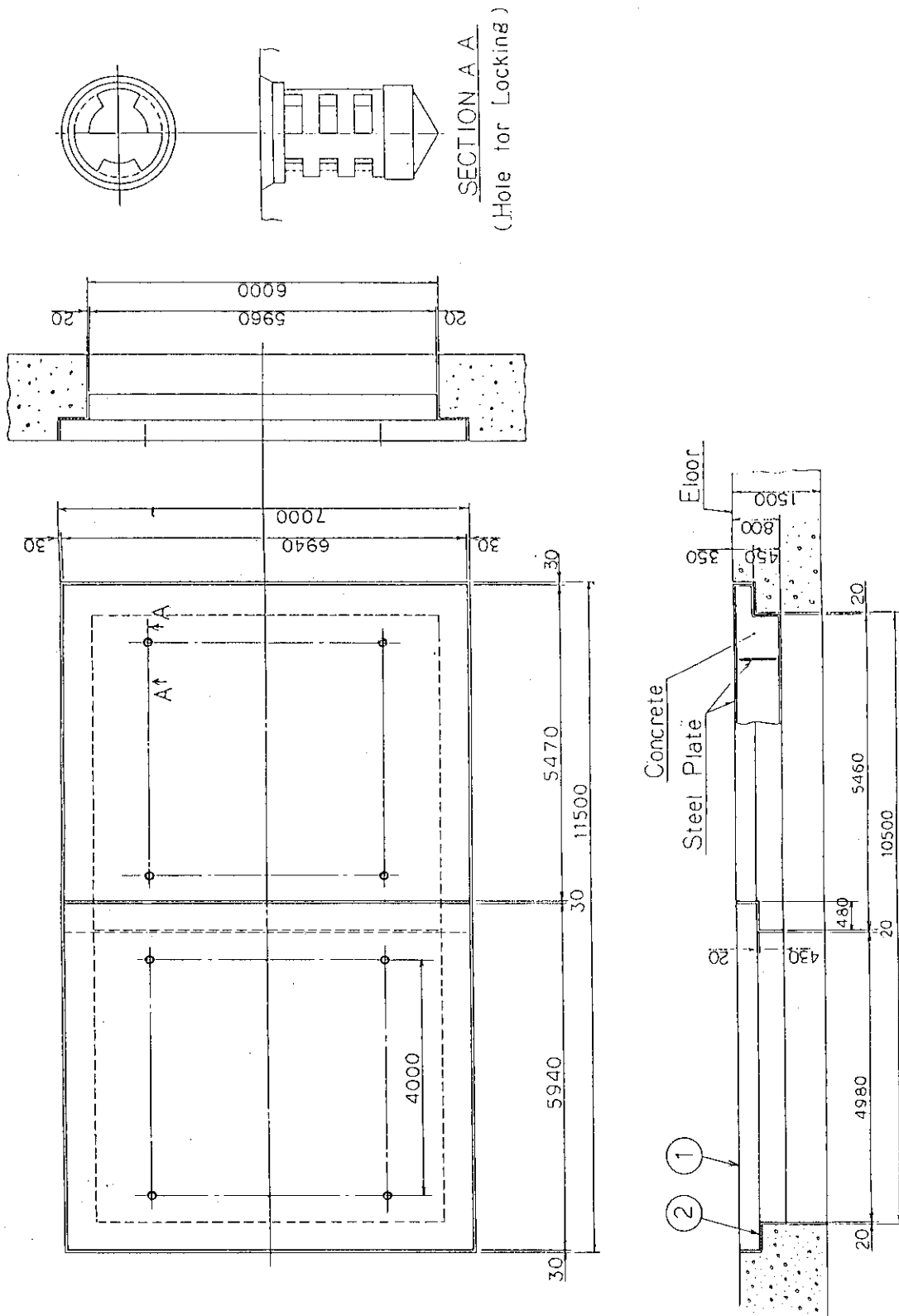


Fig. 4.3.6-3 Concept of hatch

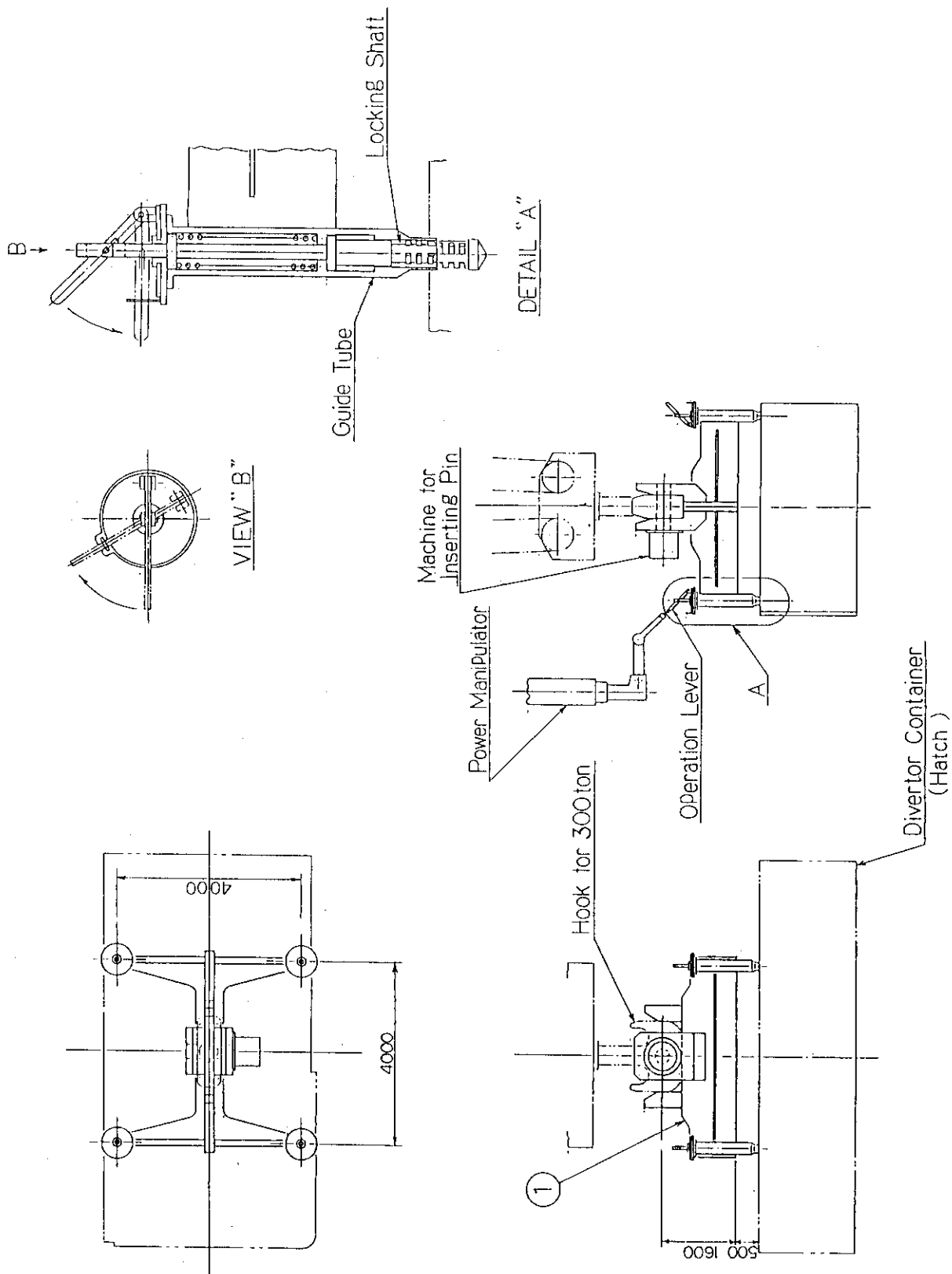


Fig. 4.3.6-4 Concept of lifting device for container and hatch

## 4.3.7 分解・修理建家

## (1) 建家概要

4.2.1項に示す設計条件を基に、作成した建家図をFigs. 4.3.7-1, 2に示す。建家の概要は以下の通りである。

- |        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| a) 構造  | 鉄筋コンクリート造                             |
|        | ○普通コン1.5 m以上                          |
|        | ○重コン1.0 m                             |
| b) 階数  | 地上1階, 地下2階                            |
| c) 延面積 | 4477 m <sup>2</sup> (63.5 m × 70.5 m) |
| d) 高さ  | GL + 32 m                             |
| e) 深さ  | GL - 19 m                             |

## (2) 建家内配置及び機能

建家内は、4.2.4(2)建家に示す通り分解修理建家内の作業を2台の大型クレーンで行なえるよう、次に示す2つのブロックに分割した。

- |           |                    |
|-----------|--------------------|
| ① セミホットセル | (除染, 検査, 修理)       |
| ② ホットセル   | (検査, 修理, 解体廃棄, 試験) |

各々のセルは、作業手順及びアクセスを考慮して、本体室側より、①セミホットセル、②ホットセルの順に配置を行なった。以下に各々のセルについて記す。

## a) セミホットセル

セミホットセルは、移送、除染、検査、修理のシステムより構成されている。分解修理建家で扱う対象機器は炉本体室より、移送通路を通過してセル端の扉を通過して搬入される。本セルには300 tクレーンが1台設置されている。

除染システムの領域には、18.5 m × 11 m × 10.5 m (高さ)の鋼製ホットセルを設けている。高さを10.5 mとした理由は、クレーン走行の障害とならない様考慮したためである。またクレーン走行側の壁は、クレーン支持のため2 mとした。

検査、修理システムの領域では、検査修理に係る作業が行なわれる。ここでの作業は、低放射化部分に限られる。

本セル内には一時保管庫の搬出入用ハッチが設けられている。

## b) ホットセル

ホットセルは、移送、検査、修理、解体廃棄、試験の各システムより構成されている。

移送システムは、前記セミホットセルと同様に、セルの中央にハッチを設け、300 tクレーンで搬出入が行なわれる。

検査、修理システムでは、検査、修理の対象となる部分を、セミホットセル側から、壁を通してホットセル側へ出し、高放射化部の検査、修理を行なう。

解体廃棄システムでは、放射化された機器の解体、減容を行なう。本システムの領域には、解体用プール及び、除染用のピットを設けている。

試験システムでは、サンプリングされた試料の金相試験などを行なう。試験ルームは、高さを制限し、クレーン走行の障害にならないよう考慮した。

c) 地下室

地下室では、移送通路Ⅱの他に、一時保管庫、空調室、排液処理室を設ける。

一時保管庫は、セミホットセルのハッチ部につながるよう配置され、ダイバータ用と、RF用、可動遮蔽用の3つの保管庫を設ける。

他の領域は、空調用と、排液処理用の室としていくつかに仕切られる。

d) オペレーションルーム

セミホットセル、ホットセルを囲む四方の内、炉本体建家側を除いた三方をオペレーションルームとする。

オペレーションルームでは、セル内の作業監視及びマスタースレーブ等の操作を行なう。

オペレーションルームには、地下室につながる階段を設ける。また、オペレーションルームに隣接して、チェンジングルームを設け、作業員の出入口とする。チェンジングルームの反対側オペレーションルームには、非常口を設け、緊急時の退避出口とする。

オペレーションルームは高さを制限し、クレーン走行の障害とならないよう考慮した。

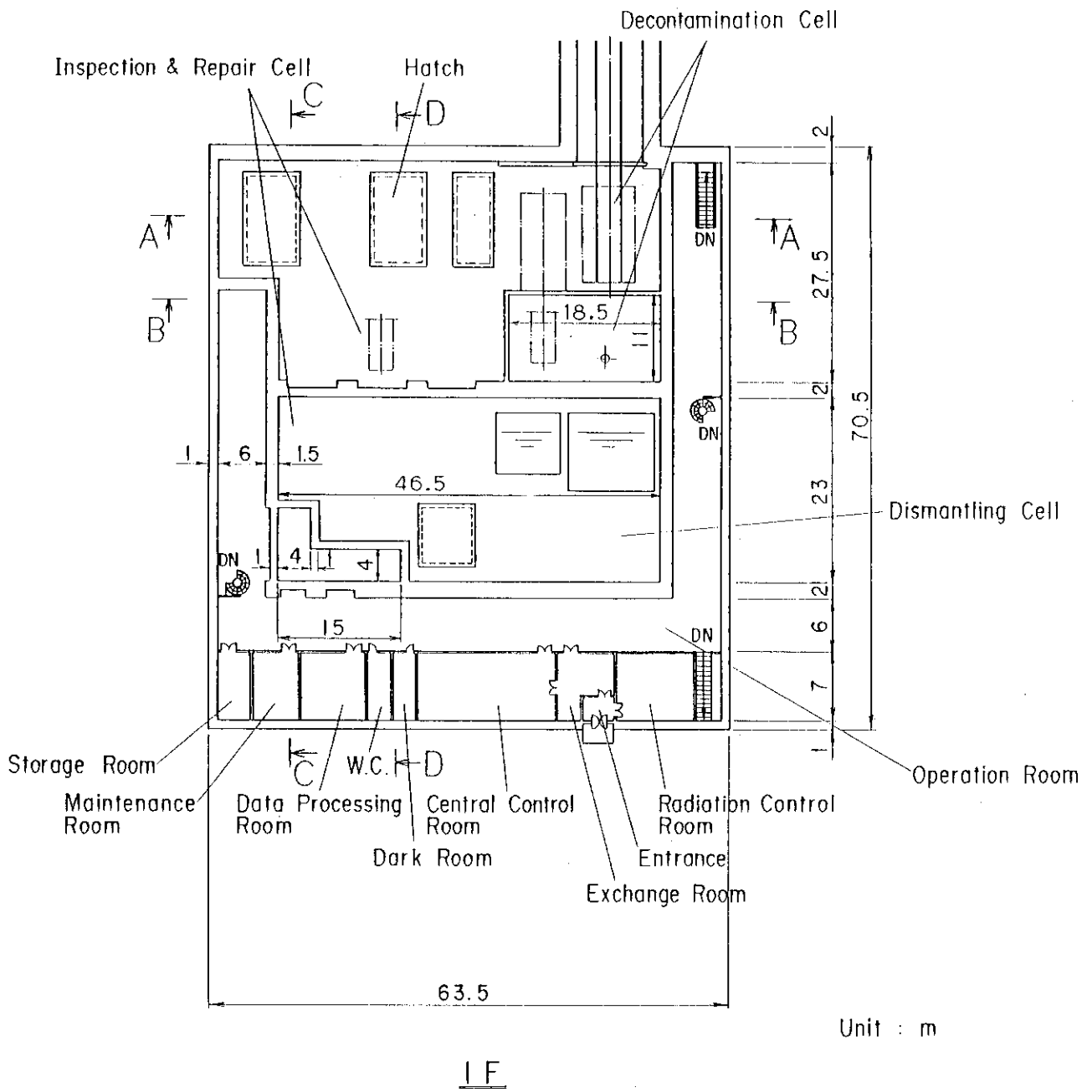


Fig. 4.3.7-1 Maintenance Facility (Plan View)

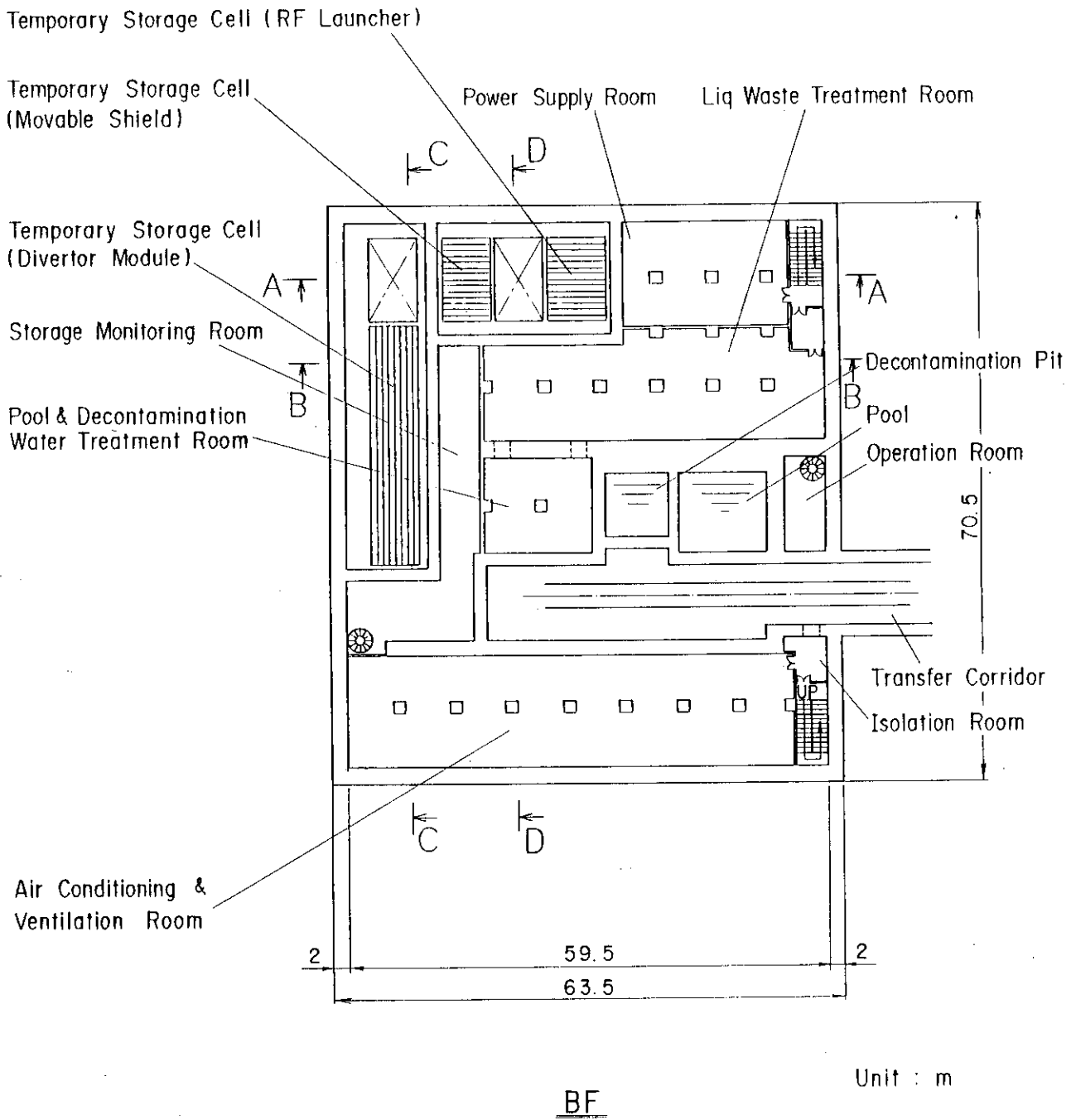


Fig. 4.3.7-1 (Continued)

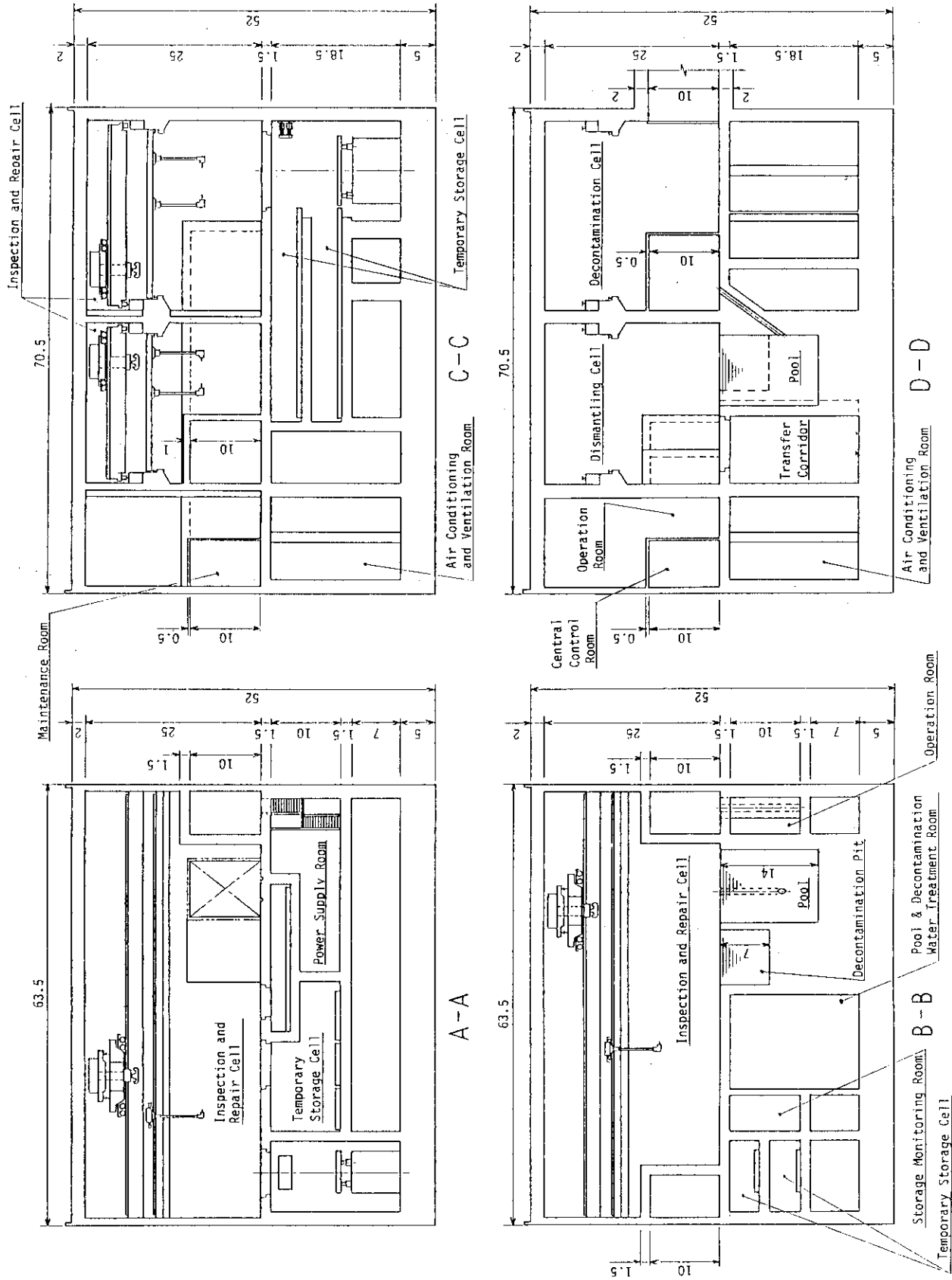


Fig. 4.3.7-2 Maintenance Facility (Vertical View)



#### 4.4 まとめ

炉本体構造の変更による分解・修理システムの見直し、および施設の合理化のための分解・修理施設の再検討が行なわれ、昨年度にくらべ、建家敷地面積で約 25 % の削減となった。(付録参照)。これは主に下記の事項に起因している。

- ① ローディングセルの廃止
- ② 炉室と分解修理室間移送通路を地階から 1 階に変更し、かつ、移送台車を除染セミホットセル内台車と兼用化したこと。
- ③ 除染セルと検査・修理セルのセミホットセルとホットセル間貫通穴をダイバータ、ガードリミタ (昨年度はなし)、RFランチャー、可動遮蔽用を横に並べず、ダイバータ、ガードリミタ、RFランチャー用は炉心部の高さに応じて、縦に配列したこと。
- ④ 炉本体機器対象モジュールの取扱い重量、寸法の減少

いっぽう、上記の合理化などに起因して、逆に作業方法等で新たに発生した問題点または今後の検討課題を以下に列挙する。

- ① ローディングセルを廃止したことにより、大物機器の搬出入はすべて炉建家、炉建家間移送通路を介して行なわれる。そのため、搬出入経路が複雑になるだけでなく、たとえば、炉運転中などの場合、搬出入計画に支障を及ぼす可能性がある。
- ② 移送通路が 1 階になったことから、室内への出入がハッチ方式から遮蔽扉方式に変更になった。本扉の間口が非常に大きいため、気密構造等に関し、今後検討する必要がある。
- ③ ダイバータ、RFランチャー、ガードリミタ用のセミホット、ホットセル間貫通穴が縦に配列されているため、並行作業が困難となり、分解修理時間が長くなる可能性がある。したがって、今後全体分解・修理計画と作業手順、所要時間等についてさらに詳細に検討していくことが必要である。
- ④ たとえば、可動遮蔽については重量は減少したものの、アクセスドアと一体となり、据置き、取扱いなどが困難な構造となった。また、ダイバータ遮蔽、可動遮蔽などが水タンク型となったため、遮蔽から水抜きすると、セミホットセル内への作業員立入りが困難となったほか、ダイバータ遮蔽延長部設置のローラー部などが放射化のため、直接保守が困難となった。このように、今年度炉本体構造は分解修理システム上からはより高度な技術レベルが要求される可能性を有している。

## 付録 '85 FER, Op.C 炉の分解・修理施設との比較

本付録では, '85 FER, Op.C 炉および ACS 炉の分解・修理施設の規模の概略比較を行なう。

## (1) 取扱い対象機器の寸法, 重量

分解・修理施設に搬入, 取扱われる炉心機器の寸法, 重量の比較を Table 4.A-1 に示す。なお, 受入個数, 一時保管個数は本文中 Table 4.2.1-2 と同じである。

## (2) 主要作業セル規模

主要作業セル (セミホットセルとホットセル) およびセル内主要設備である天井走行クレーンの比較を Table 4.A-2 に示す。

同表より, 主要セルの容積の合計は

'85 FER	.....	142.8 m <sup>3</sup>
Op.C	.....	91.1 m <sup>3</sup>
ACS	.....	63.3 m <sup>3</sup>

となる。また, 天井走行クレーンは '85 FER が 500 t クレーン 3 台に対して, Op.C では 2 台に減じ, ACS では, 容量が 300 t にさらに減じている。

## (3) 建 家

'85 FER および Op.C の分解・修理建家 (1 階) の平面図をそれぞれ, Fig. 4.A-1(a),(b) に示す (ACS は Fig. 4.3.7-1 参照)。これらの図より, 建家敷地面積は,

'85 FER	.....	70 × 85.5 m (5,985 m <sup>2</sup> )
Op.C	.....	70 × 72 m (5,040 m <sup>2</sup> )
ACS	.....	63.5 × 70.5 m (4,477 m <sup>2</sup> )

となり, ACS は '85 FER にくらべ建家敷地面積で約 75 % となっている。

Table 4.A-1 Comparison between dimensions and weights of '85FER, OP. C and ACS

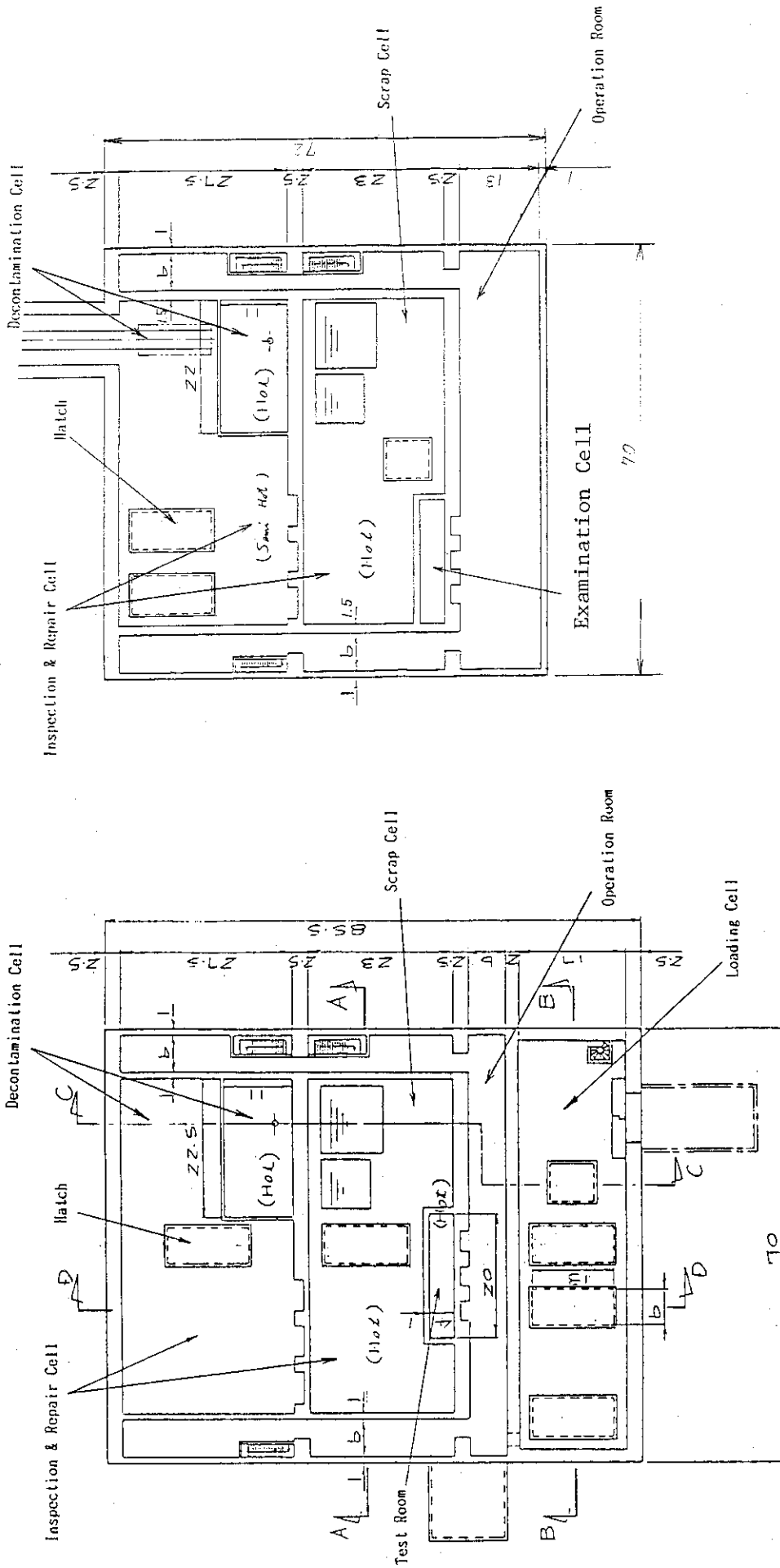
	'85FER		Op. C		ACS	
	Dimension Width×Length×Height(m)	Weight (tons)	Dimension Width×Length×Height(m)	Weight (tons)	Dimension Width×Length×Height(m)	Weight (tons)
Divertor module	3 × 11 × 1	85	3 × 9 × 1.2	84	3 × 8.5 × 1.2	62
Guard limiter						
Inboard	--	-	0.4 × 10.6 × 0.2	1.5	0.4 × 10.6 × 0.2	1.5
Outboard	--	-	2.3 × 7.7 × 0.3	15	2.3 × 7.7 × 0.3	15
Movable shield	3 × 4.5 × 6	270	3 × 5 × 7	250	4 × 7.5 × 7*	200
RF duct shield	2.5 × 5.5 × 6	260	3.5 × 7 × 6*	220	--	-
RF launcher	6 × 12 × 6	120	2.7 × 3 × 4	120	2.7 × 8.5 × 4	120
Test module	1 × 3 × 2	18	1 × 3 × 2	18	1 × 3 × 2	18

\* Integrated with an access door.

Table 4.A-2 Comparison between main cell's plans of maintenance facility for '85FER, Op.C and ACS

	'85FER	Op. C	ACS
Hot cell (Repair & Maintenance)	$23^W \times 54^L \times 30^H$ m (37.3)	$23^W \times 52.5^L \times 30^H$ m (36.2)	$23^W \times 47^L \times 23^H$ m (24.9)
Hot cell (Decontamination)	11 × 22.5 × 10 (2.5)	11 × 22 × 11 (2.7)	11 × 18.5 × 9 (1.8)
Semi-hot cell (Repair & Maintenance and Decontamination)	27.5 × 54 × 30 (44.6)	27.5 × 52.5 × 30 (43.3)	27.5 × 47 × 23 (29.7)
Examination cell	4 × 20 × 10 (0.8)	4 × 20 × 10 (0.8)	4 × 20 × 10 (0.8)
Temporary storage cell (Divertor)	8 × 50.5 × 9 (3.6)	8 × 44.3 × 10 (3.6)	9.5 × 33 × 10 (3.1)
" (Movable shield)	} 10 × 50.5 × 9 (4.5)	} 10 × 44.5 × 10 (4.5)	} 14 × 24.5 × 10 (3.4)
" (RF launcher)			
Loading cell	25 × 66 × 30 (49.5)	--	--
Overhead travelling crane	500 <sup>t</sup> × 3 units	500 <sup>t</sup> × 2 units	300 <sup>t</sup> × 2 units

Remark: Figures in the parenthesis is volumes in the cells and the unit is  $\times 10^3$  m<sup>3</sup>.



(a) '85FER1)

(b) Op. C

Fig. 4.A-1 Plot plan of maintenance building (IF)

## 5. トリチウム循環処理系の設計検討

ここでは、次の諸システムをトリチウム循環系として検討した。

- ① 真空排気系
- ② 燃料ガス循環系（精製，同位体分離，貯蔵）
- ③ 燃料注入

Fig. 5.1 及び 5.2 にそれぞれ Option C, ACS のシステム構成を示す。Fig. 5.3 に NBI-R 炉のシステム図を示す。また Table 5.1 に NBI-R の場合の燃料給排気量を示す。

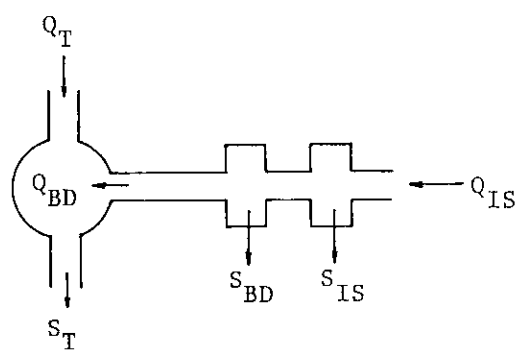
Fig. 5.3 に示す NBI-R のように加熱系として負イオン NBI を用いた場合注入系とは別に重水素がトーラスへ打ちこまれることになる。NBI のビームダンプからの排気は真空排気系の精製系へ送られる一方、トリチウムの混入量が少ないと考えられる NBI イオン源からの排気は独立した不純物除去系を通してイオン源へもどされる。NBI-R 炉の真空排気系以後のトリチウム循環システムの考え方は Option C, ACS と全く同じである。異なるのは燃料循環量である。ここでは NBI-R が現在 Option C ベースで計画されている関係上 Option C を主対象としてトリチウム循環系を考えた。

Fig. 5.4 から 5.7 に示す燃料ガス精製系と燃料ガス同位体分離系は JAERI-M 86-149 にて一通りまとめられたので、今回は残された燃料ガス貯蔵系の設計検討を主体とした。

また、燃料注入系については、JAERI-M 86-149 にて検討したのと同じシステム (Fig. 5.7 参照) を用いることとし、その詳細な記述は省略する。

Table 5.1 Option C NBI-R Specification for Fuel gas circulation system

		0~4 (4)	4~24 (20)	24~100 (76)	100~120 (20)	120~920 (720/800)	120~920 (80/800)	920~940 (20)	940~1000 (60)	Remark
$Q_T$	D	0	0	0	$0.78 \times 10^{21}$ n/s	$1.68 \times 10^{21}$ n/s	$0.48 \times 10^{21}$ n/s	$0.78 \times 10^{21}$ n/s	0	
	T	0	0	0	$1.688 \times 10^{21}$ n/s	$1.68 \times 10^{21}$ n/s	$1.688 \times 10^{21}$ n/s	$1.688 \times 10^{21}$ n/s	0	
	He	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	
$Q_{BD}$	D	0	$0.6 \times 10^{21}$ n/s	$1.2 \times 10^{21}$ n/s	$0.9 \times 10^{21}$ n/s	0	$1.2 \times 10^{21}$ n/s	$0.9 \times 10^{21}$ n/s	0	
	T	0	0	0	0	0	0	0	0	
	He	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	
$S_T$	D	0	$0.6 \times 10^{21}$ n/s	$1.2 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	0	
	T	0	0	0	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	$1.52 \times 10^{21}$ n/s	0	
	He	0	0	0	$1.63 \times 10^{20}$ n/s	$1.63 \times 10^{20}$ n/s	$1.63 \times 10^{20}$ n/s	$1.63 \times 10^{20}$ n/s	0	
	C	0	0	0	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	0	
	O	0	0	0	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	$1.63 \times 10^{19}$ n/s	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	$3.26 \times 10^{19}$ n/s	$3.26 \times 10^{19}$ n/s	$3.26 \times 10^{19}$ n/s	$3.26 \times 10^{19}$ n/s	0	
$S_{BD}$	D	0	$5.1 \times 10^{20}$ n/s	$1.02 \times 10^{21}$ n/s	$7.65 \times 10^{20}$ n/s	0	$10.2 \times 10^{20}$ n/s	$7.65 \times 10^{20}$ n/s	0	
	T	0	0	0	$8.37 \times 10^{18}$ n/s	0	$8.37 \times 10^{18}$ n/s	$8.37 \times 10^{18}$ n/s	0	
	He	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	
$S_{IS}$	D	0	$8.1 \times 10^{21}$ n/s	$16.2 \times 10^{21}$ n/s	$12.15 \times 10^{21}$ n/s	0	$16.2 \times 10^{21}$ n/s	$12.15 \times 10^{21}$ n/s	0	
	T	0	0	0	$3.32 \times 10^{17}$ n/s	0	$3.32 \times 10^{17}$ n/s	$3.32 \times 10^{17}$ n/s	0	
	He	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	
$Q_{IS}$	D	0	$9.81 \times 10^{21}$ n/s	$19.62 \times 10^{21}$ n/s	$14.71 \times 10^{21}$ n/s	0	$19.62 \times 10^{21}$ n/s	$14.71 \times 10^{21}$ n/s	0	
	T	0	10	0	0	0	0	0	0	
	He	0	0	0	0	0	0	0	0	
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	
NBI Power Fueling gas			30MW D	60MW D	45MW D+T	D+T	60MW D+T	45MW D+T		



- $Q_T$  : Injected Fuel Gas
- $S_T$  : Evacuated Fuel Gas
- $Q_{IS}$  : Gas supply for Ion Source
- $S_{IS}$  : Gas evacuation from Ion Source
- $S_{BD}$  : Gas evacuation from Beam dump
- $Q_{BD}$  : Gas flow from NBI to vacuum chamber

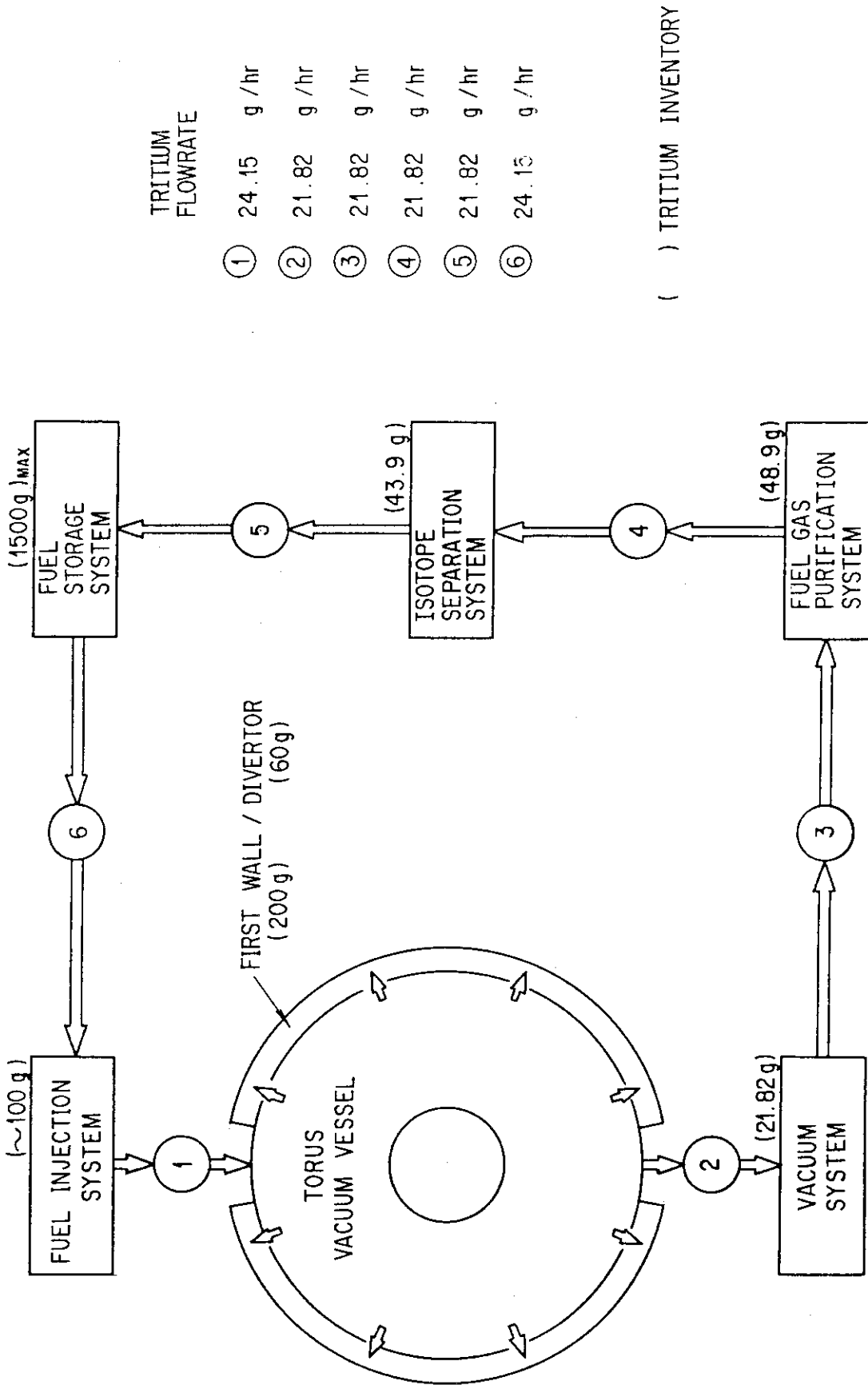


Fig. 5.1 Tritium inventory and flow rate of fuel gas circulation system (Option C, Duty 0.8)



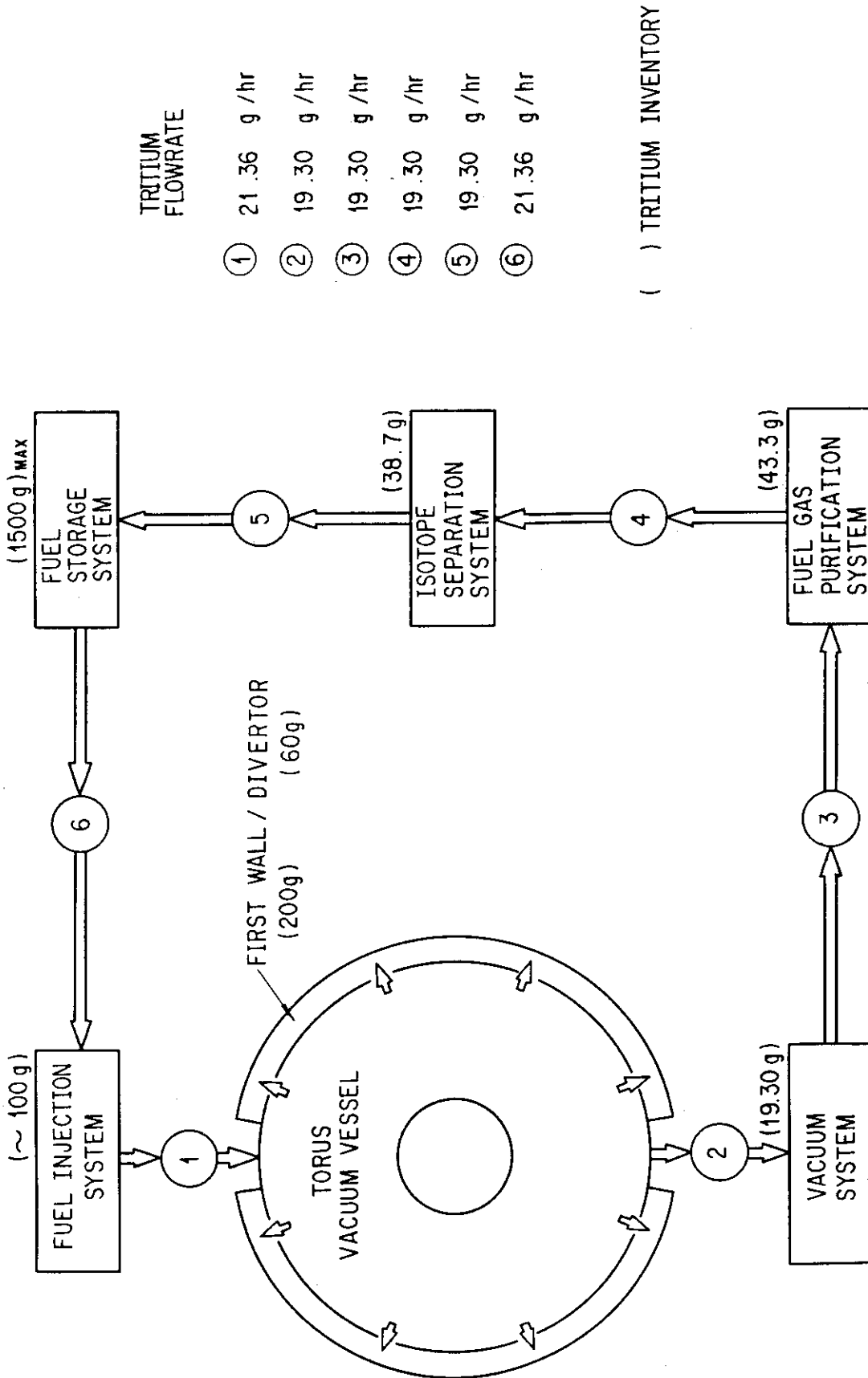
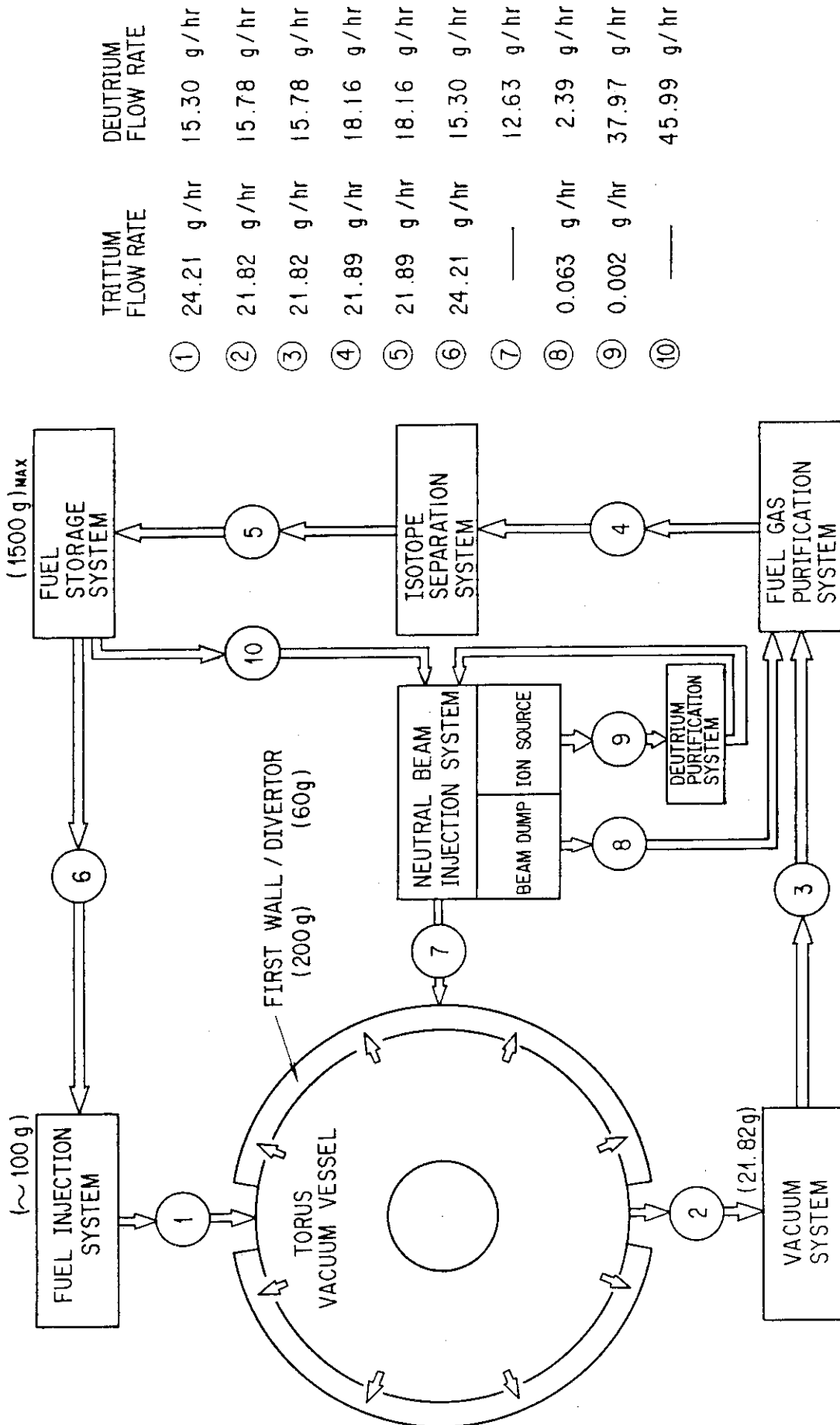


Fig. 5.2 Tritium inventory and flow rate of fuel gas circulation system (ACS Duty 0.8)



Node	Tritium Flow Rate (g/hr)	Deuterium Flow Rate (g/hr)
①	24.21	15.30
②	21.82	15.78
③	21.82	15.78
④	21.89	18.16
⑤	21.89	18.16
⑥	24.21	15.30
⑦	—	12.63
⑧	0.063	2.39
⑨	0.002	37.97
⑩	—	45.99

Fig. 5.3 Tritium inventory and flow rate of fuel gas circulation system (NBI-R, Duty 0.8)

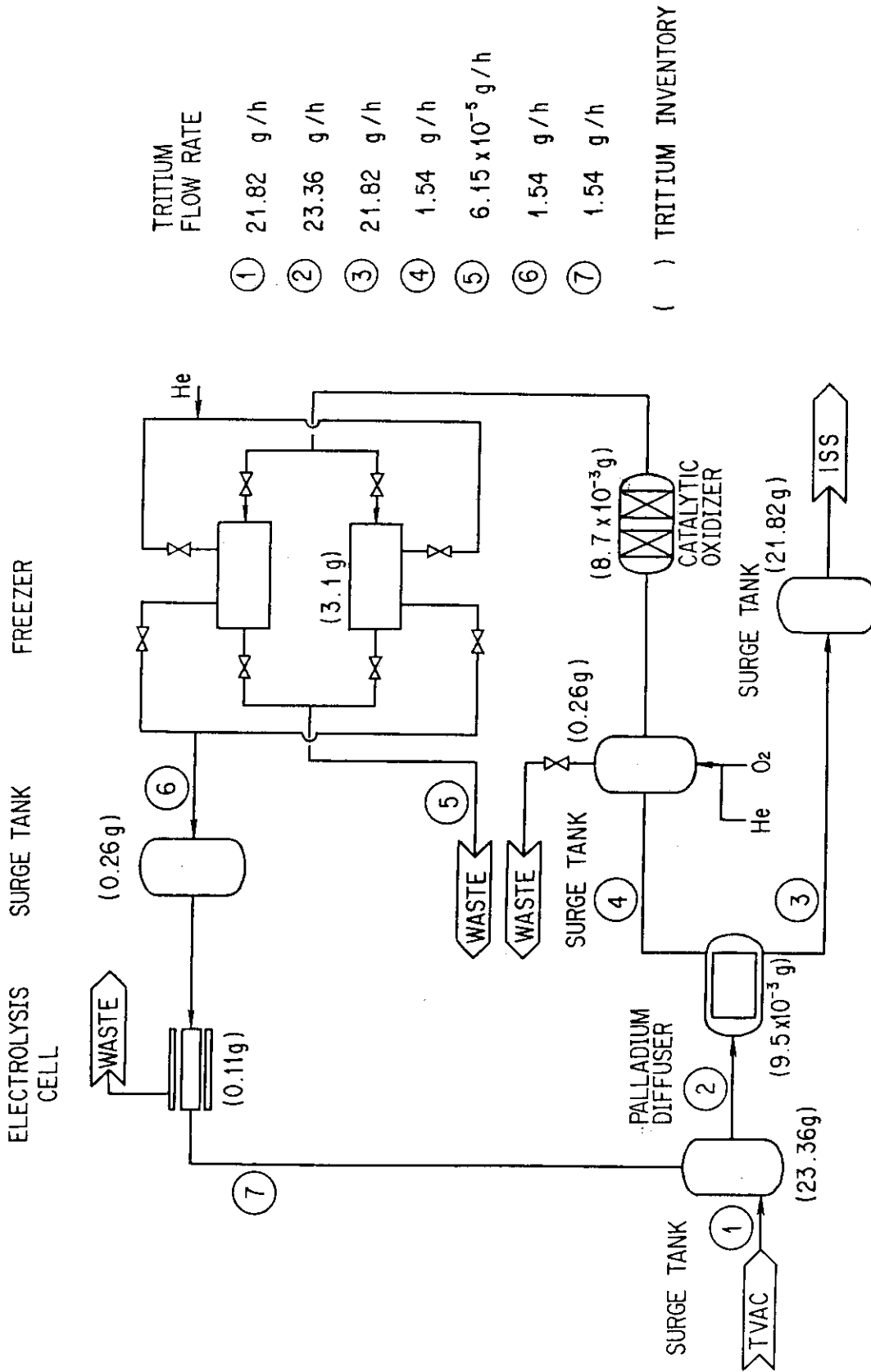


Fig. 5.4 Tritium inventory and flow rate of fuel gas purification system (Option C, Duty 0.8)

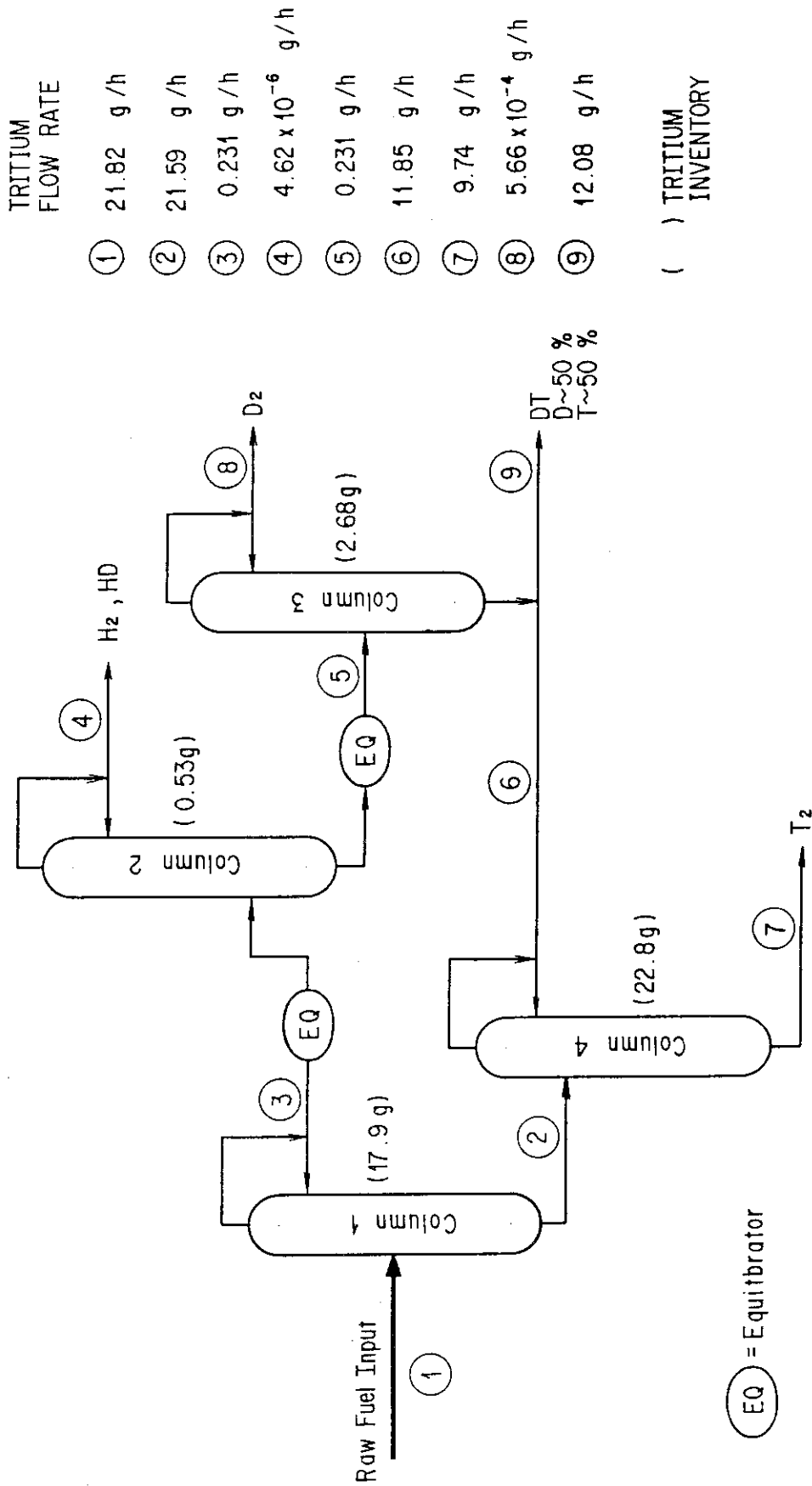


Fig. 5.5 Tritium inventory and flow rate flow rate of fuel gas isotope separation system (Option C, Duty 0.8)

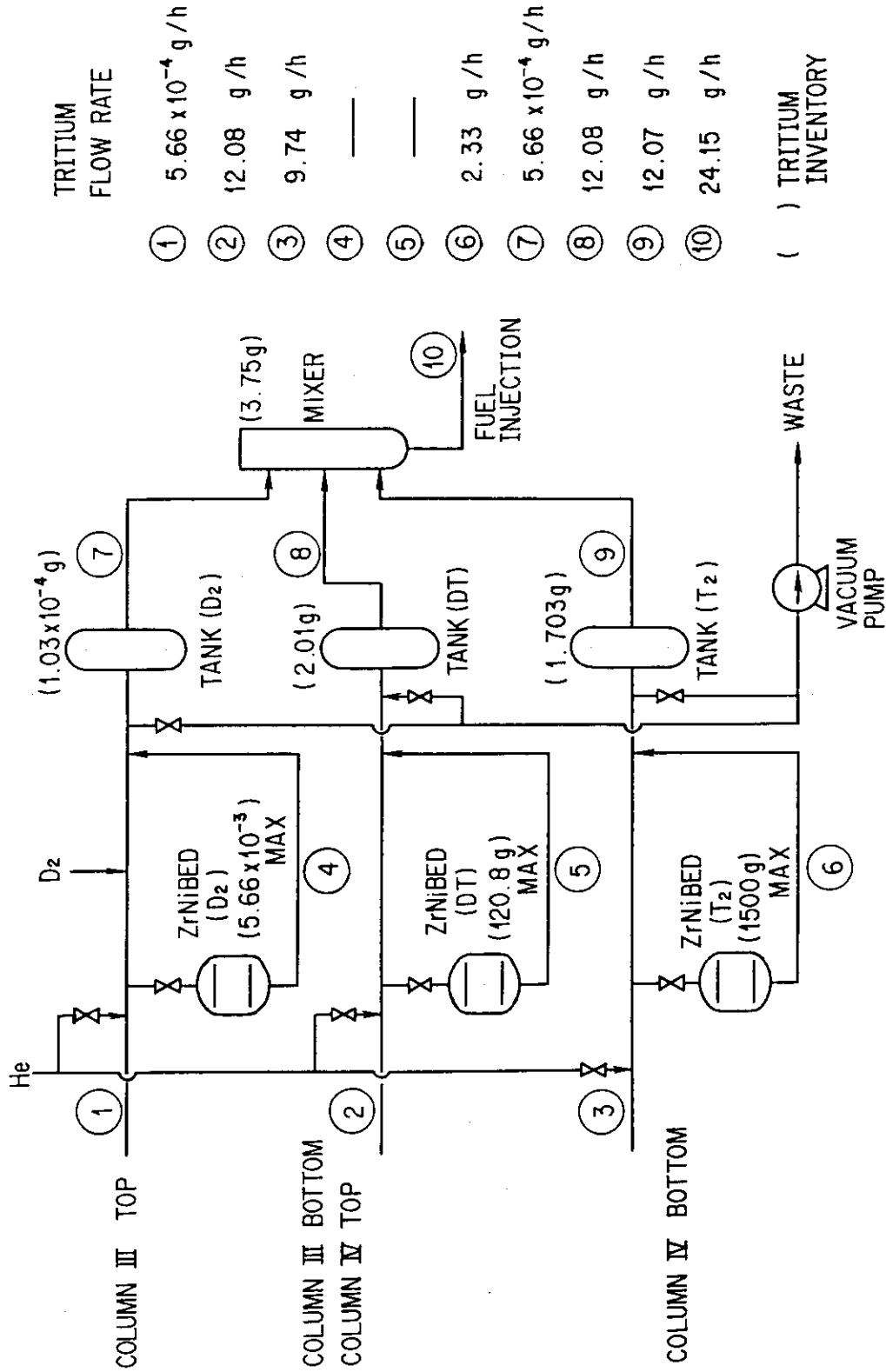


Fig. 5.6 Tritium inventory and flow rate of fuel gas storage system (Option C, Duty 0.8)

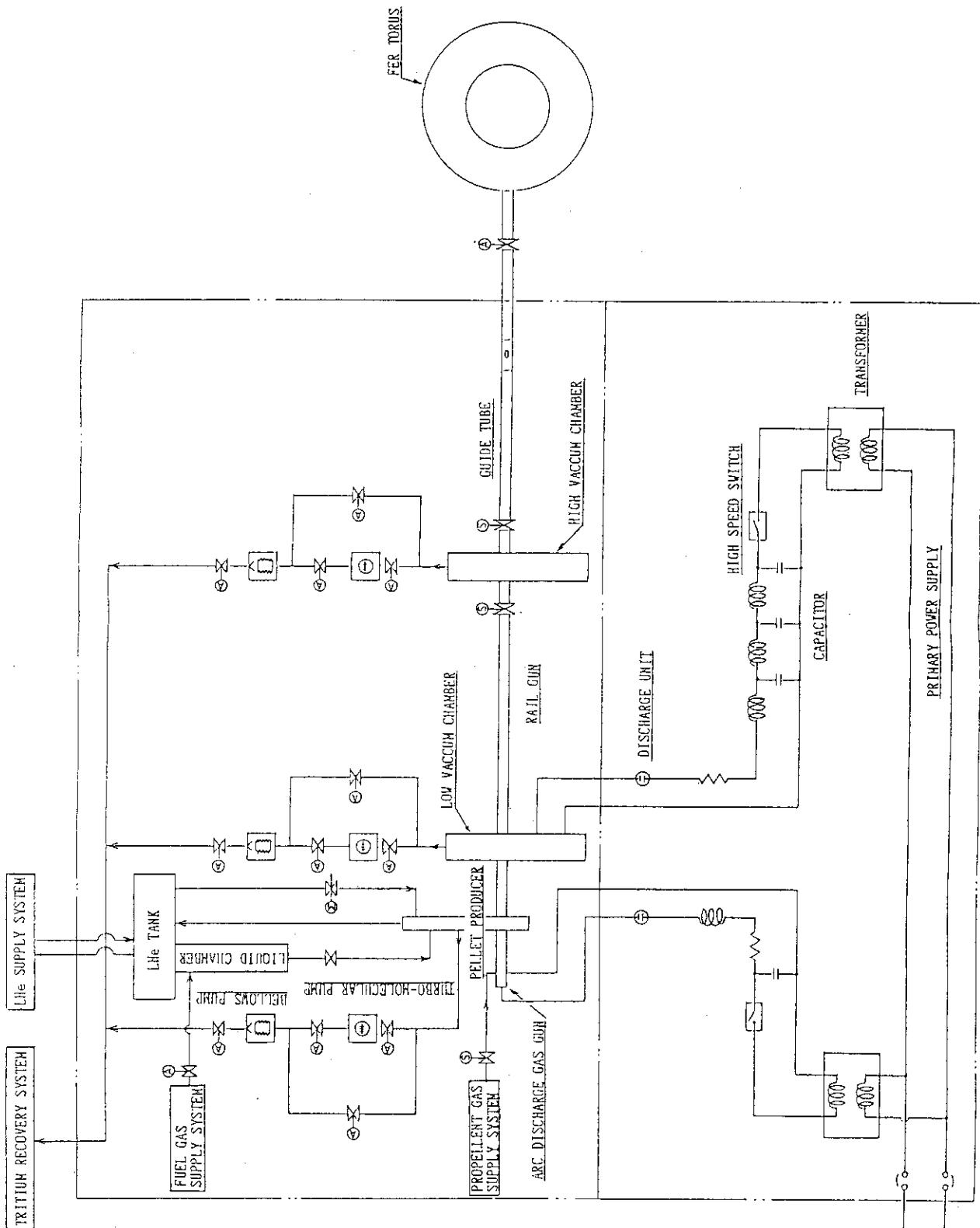


Fig. 5.7 Pellet fueling system for burning phase

## 5.1 真空排気系

### 5.1.1 はじめに

今年度の FER の真空排気系は、これまでの設計<sup>(30)</sup>と比べて大きい変更はない。主な変更点は以下の2点である。

- (1) 前年度までは炉本体とそれを取り囲む厚さ 2 m の円筒柱の空間にクライオポンプが設置されていたのに対し、今年度は円筒柱の外側、つまり炉本体地下室 B1 に設置した。これはポンプ類の保守・点検を容易にするという理由による。
- (2) ゲートバルブの前に高速シャッターを設置したこと。真空容器、アクセスポート等の真空バウンダリが何らかの理由で破れた時に、クライオパネルのトリチウムが逆流して炉本体室に拡散する恐れがある。ゲートバルブの開閉時間は10秒程度と予想されるので、クライオパネルのトリチウムの逆流を防ぐために、ダクトコンダクタンスを可能な限り小さくするような高速シャッターを設ける。

以上の2点以外は昨年までの設計と同一であり、主ポンプとして複合クライオポンプを用いた排気系を主案に、ターボ分子ポンプを複案として検討を行った。

複合クライオポンプは He 排気方式として、

- (1) 液体 He 冷却による活性炭ソープションパネルを用いた場合。
- (2) 気体凝縮層（特に Ar）トラッピングによる場合。

の2方式を取り上げ、簡単な比較を行った。

ターボ分子ポンプを主ポンプとした場合については、

- (1) トーラス引き口での必要排気速度が、クライオポンプを使用した場合と同一の  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  である場合。
  - (2) ダイバータ板上の粒子の再循環が大きくなり、これに従って燃料粒子およびヘリウム粒子の中性ガス圧が高くなり、トーラス引き口での必要排気速度が  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  程度になった場合。
- の2ケースについて簡単な検討を行った。

### 5.1.2 設計条件

Table 5.1.1 に設計条件および以下の式で計算したダクトの分子流コンダクタンスを示す。

$$C = \frac{4}{3} \alpha \bar{v} \frac{A^2}{H \left( \ell + \frac{16}{3} \alpha \frac{A}{H} \right)} \quad (1)$$

ここで  $\alpha$  : 形状係数,  $A$  : 導管断面積 ( $\text{m}^2$ ),  
 $H$  : 導管断面の周囲長 ( $\text{m}$ ),  $\ell$  : 導管の長さ ( $\text{m}$ ),  
 $\bar{v}$  : 気体の平均速度 =  $\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

### 5.1.3 複合クライオポンプを主ポンプとした場合

He 排気として活性炭ソープションパネルを用いた複合クライオポンプと、Ar ガス凝縮層トラッピングを用いた複合クライオポンプの概略システムを、それぞれ Fig. 5.1.1 と Fig. 5.1.2 に示

す。両者はほぼ同じ構成であり、主ポンプの複合クライオポンプと、ターボ分子ポンプ、スパイラルブースタポンプからなる粗引き系から構成される。

活性炭ソープションパネル方式と Ar ガス凝縮層トラッピング方式の比較を Table 5.1.2 に示す。Ar ガス凝縮層トラッピング方式は活性炭方式に比べて、吸着容量が小さいという報告<sup>(31),(32)</sup>もあるが、この点だけで両者の優劣を判断すべきではなく、再生時間、トリチウム系への影響、コスト等の面から定量的に判断すべきであり、これからの R & D の結果により設計を絞っていく必要がある。Fig. 5.1.3 と Fig. 5.1.4 にそれぞれ活性炭クライオソープションパネルを用いた複合クライオポンプの概念図とレイアウトを示す。

#### 5.1.4 ターボ分子ポンプを主ポンプとした場合

ターボ分子ポンプはため込み式ではないため、トリチウムインベントリーは無視できる程小さいこと、高価な液体 He を使用する必要がないこと、システムが簡単化されること等の利点がある。

トーラス引き口での必要排気速度を  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  と  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  の 2 ケースについて、ターボ分子ポンプの必要台数を求める。

##### (1) 必要排気速度 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合

He, D<sub>2</sub>, T<sub>2</sub> の各気体に対するポンプの排気速度 S<sub>p</sub> は以下の式で与えられる。

$$\frac{1}{S_p} = \frac{1}{S_{\text{eff}}} - \frac{1}{C} \quad (2)$$

C : 各気体に対するダクトコンダクタンス

S<sub>eff</sub> : 有効排気速度

(2)式に従って、He, D<sub>2</sub>, T<sub>2</sub> に対するポンプの排気速度を計算すると、S<sub>pHe</sub> = S<sub>pD<sub>2</sub></sub> =  $332 \text{ m}^3/\text{s}$ 、S<sub>pT<sub>2</sub></sub> =  $688 \text{ m}^3/\text{s}$  となる。よってターボ分子ポンプとして  $5000 \text{ l}/\text{s}$  のものを使用するとすれば排気ダクト一本当りのターボ分子ポンプの台数は、

$$\frac{688 \times 10^3}{5000 \times 12} = 11.5 \rightarrow 12 \text{ 台}$$

となる。この場合のレイアウトを Fig. 5.1.5 に示す。

##### (2) 必要排気速度 $25 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合

(1)の場合と同様の計算を行えば、S<sub>pHe</sub> = S<sub>pD<sub>2</sub></sub> =  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、S<sub>pT<sub>2</sub></sub> =  $32 \text{ m}^3/\text{s}$  となるから、ダクト一本当りのターボ分子ポンプ（排気速度  $5000 \text{ l}/\text{s}$ ）の台数は、

$$\frac{30 \times 10^3}{5000 \times 12} = 0.5$$

となる。つまり 1 台で十分であるという結果を得る。この場合のレイアウトを Fig. 5.1.6 に示す。

#### 5.1.5 まとめ

今年度は主ポンプとして複合クライオポンプを用いた排気系を主案とし、ターボ分子ポンプを用いた排気系を複案として概略検討を行った。検討結果をまとめると以下ようになる。

(1) 複合クライオポンプの He 排気方式として、活性炭方式と気体凝縮層（特に Ar 凝縮層）



トラッピング方式を比較したが、比較のためのデータベースは少なく、設計を絞るためには今後のR & Dが必要である。

- (2) ターボ分子ポンプを主ポンプとして用いる場合は必要排気速度を  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  とすると、排気速度  $5000 \text{ l/s}$  のターボ分子ポンプが排気ダクト 1 本当たり 12 台必要であり、必要排気速度が  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  の場合はダクト 1 本当たり 1 台必要である。
- (3) ターボ分子ポンプはため込み式でないため、トリチウムインベントリーは無視できる程小さいこと、高価な液体 He を使用する必要がないこと、システムが簡略化されること等の利点がある。しかし現在のところ、オイルフリーでしかも耐放射線対策を施したターボ分子ポンプはなく、今後の R & D が必要である。

Table 5.1.1 Specifications for Vacuum Pumping System

Pre-shot base pressure	$1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ( $10^{-5} \text{ Torr}$ )
Ultimate pressure	$1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ( $10^{-8} \text{ Torr}$ )
Required pumping speed at divertor slot	$1.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}$
Gas load from divertor	$2.88 \times 10^{21} \text{ l/s}$ (for D,T) $1.44 \times 10^{20} \text{ l/s}$ (for He)
Gas load composition	D : 46%, T : 46% He: 5%, H : 1% C : 1.5%, N : <0.1% O : 0.5%
Nuclear heating of cryopanel	<5 kW
Exhaust duct conductance	for He(D <sub>2</sub> ) $143 \text{ m}^3/\text{s}$ for T <sub>2</sub> $117 \text{ m}^3/\text{s}$ for N <sub>2</sub> $54 \text{ m}^3/\text{s}$

Table 5.1.2 Comparison between charcoal cryosorption pump and cryotrapping pump by argon condensed layers

	Charcoal cryosorption	Cryotrapping by argon condensed layers
Characteristics of pumping	Helium molecules are adsorbed on the charcoal cryosorption panel.	Helium molecules are adsorbed on the argon condensed layers.
Adsorption capacity	Relatively large	Relatively small
Pumping speed	$2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (with chevron)	$2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ (with chevron)
Weight	Relatively heavy	Relatively light
Regeneration temperature	20K ~ 35K (Higher temperature than above is necessary to desorb H <sub>2</sub> O)	20K ~ 35K (Argon condensed layers are regenerated at 90K)
Regeneration time	Relatively long	Relatively short
Fabrication of cryo-surface	More difficult	Easier
Others	Charcoals are expected to be separated off from the panel.	A large amount of argon is imposed on the tritium system.

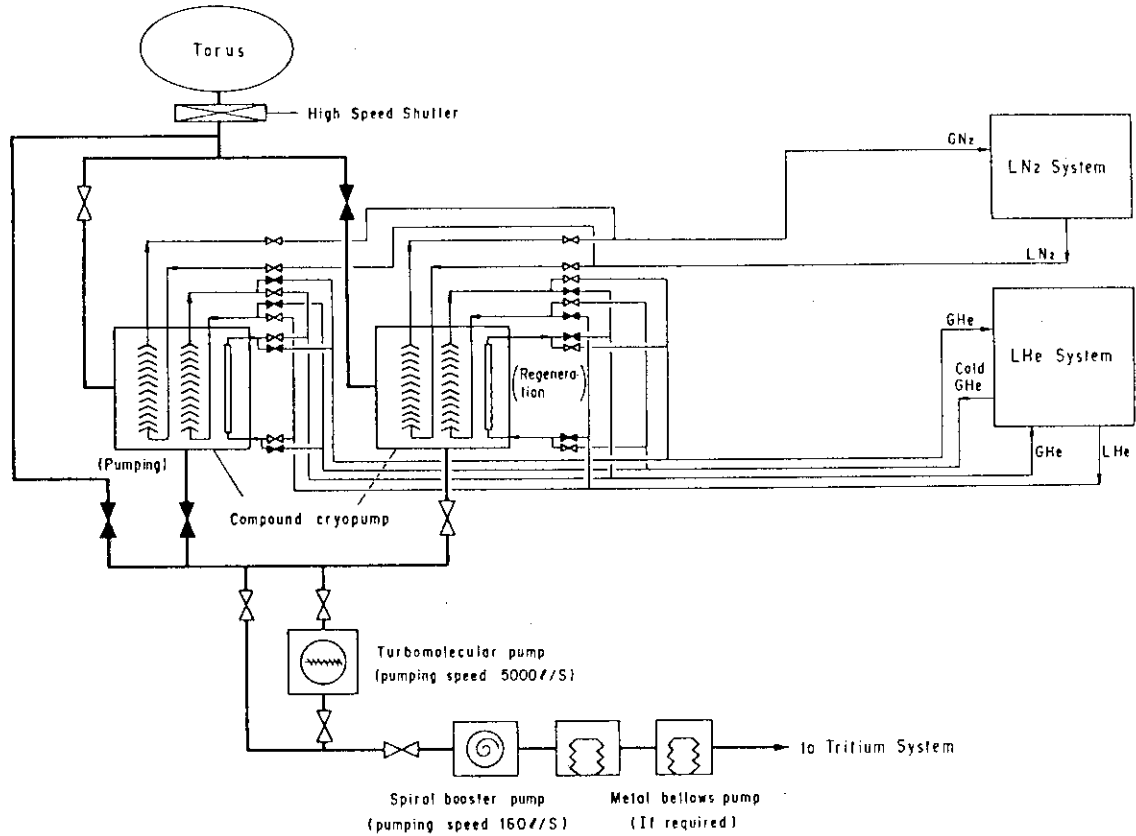


Fig. 5.1.1 Vacuum pumping system: Active charcoal is used for He gas pumping.

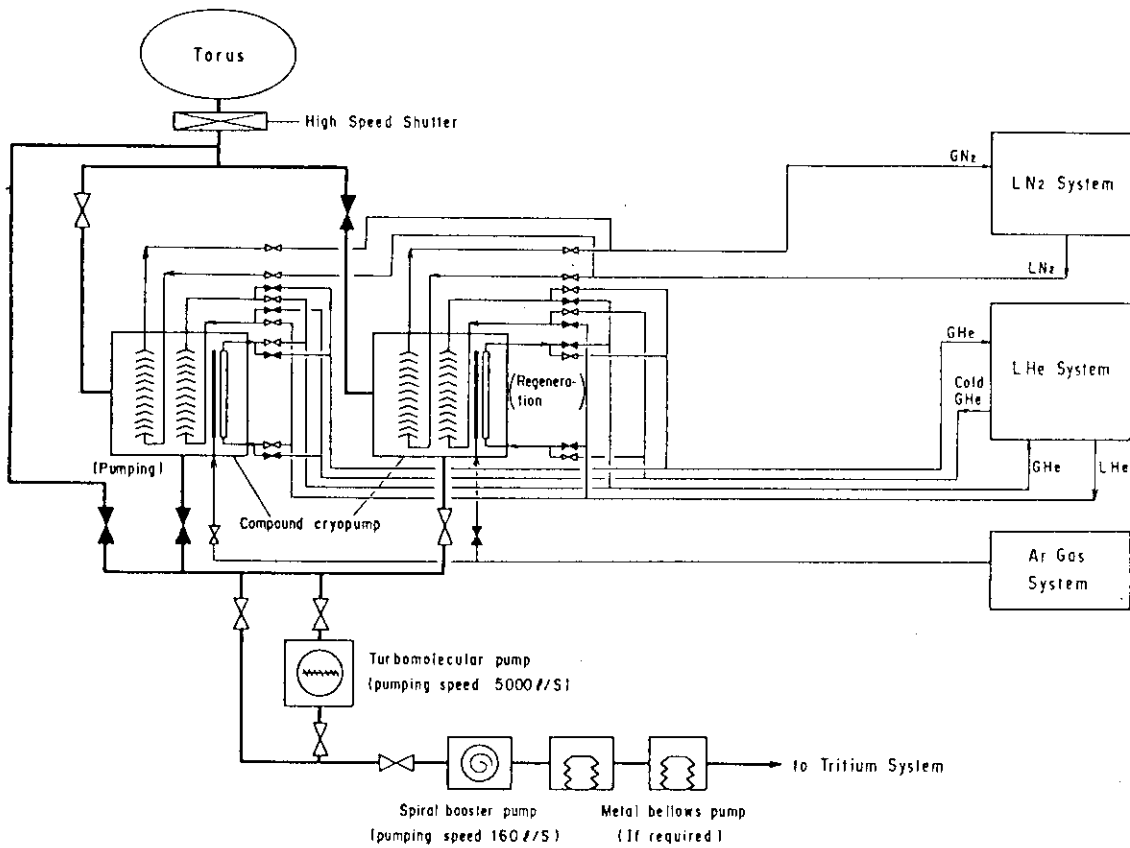


Fig. 5.1.2 Vacuum pumping system: Argon gas trapping is used for He gas pumping

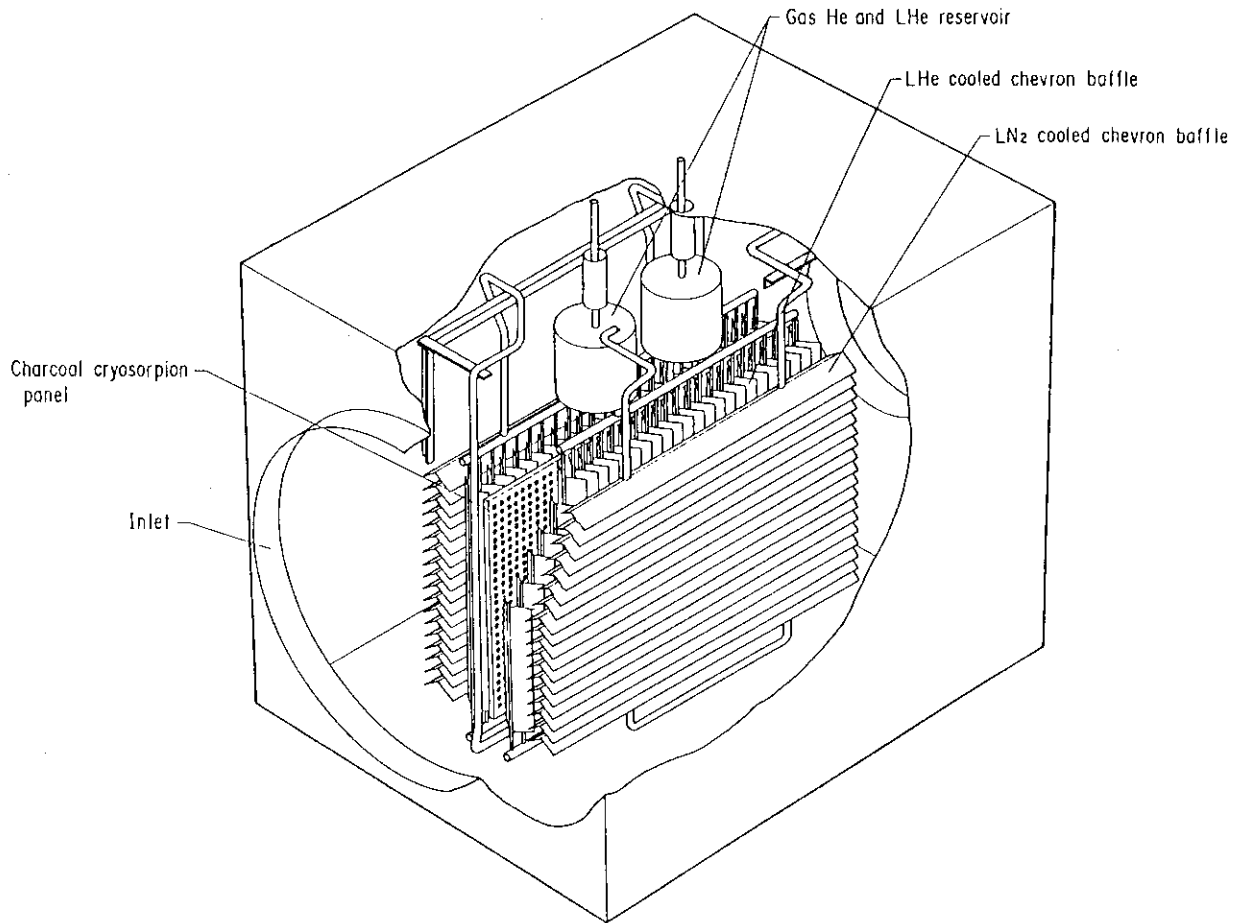


Fig. 5.1.3 Compound cryopump (Thermal shield panels are not shown)

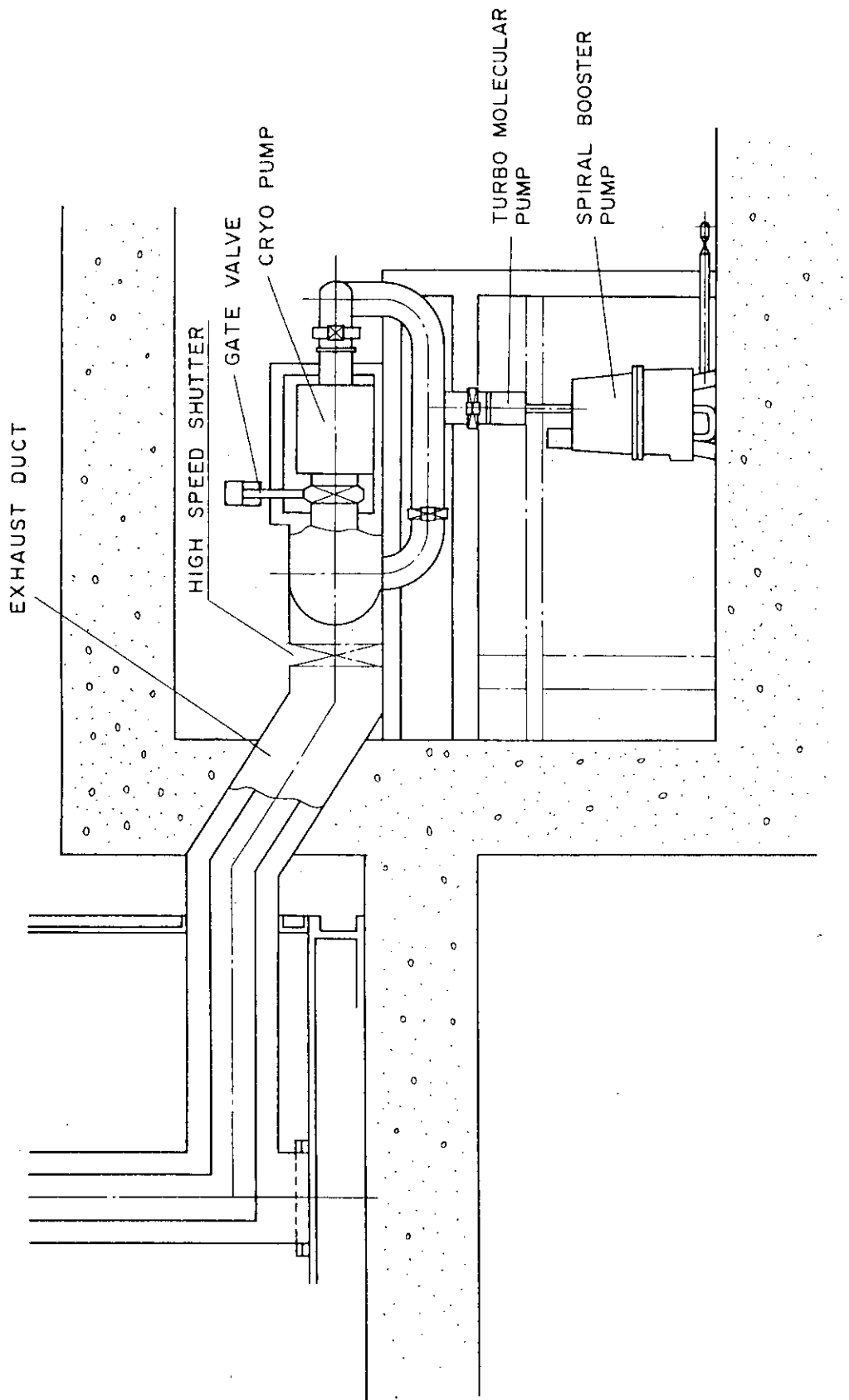


Fig. 5.1.1.4 Layout of vacuum system; Cryopump is used for the main pump.

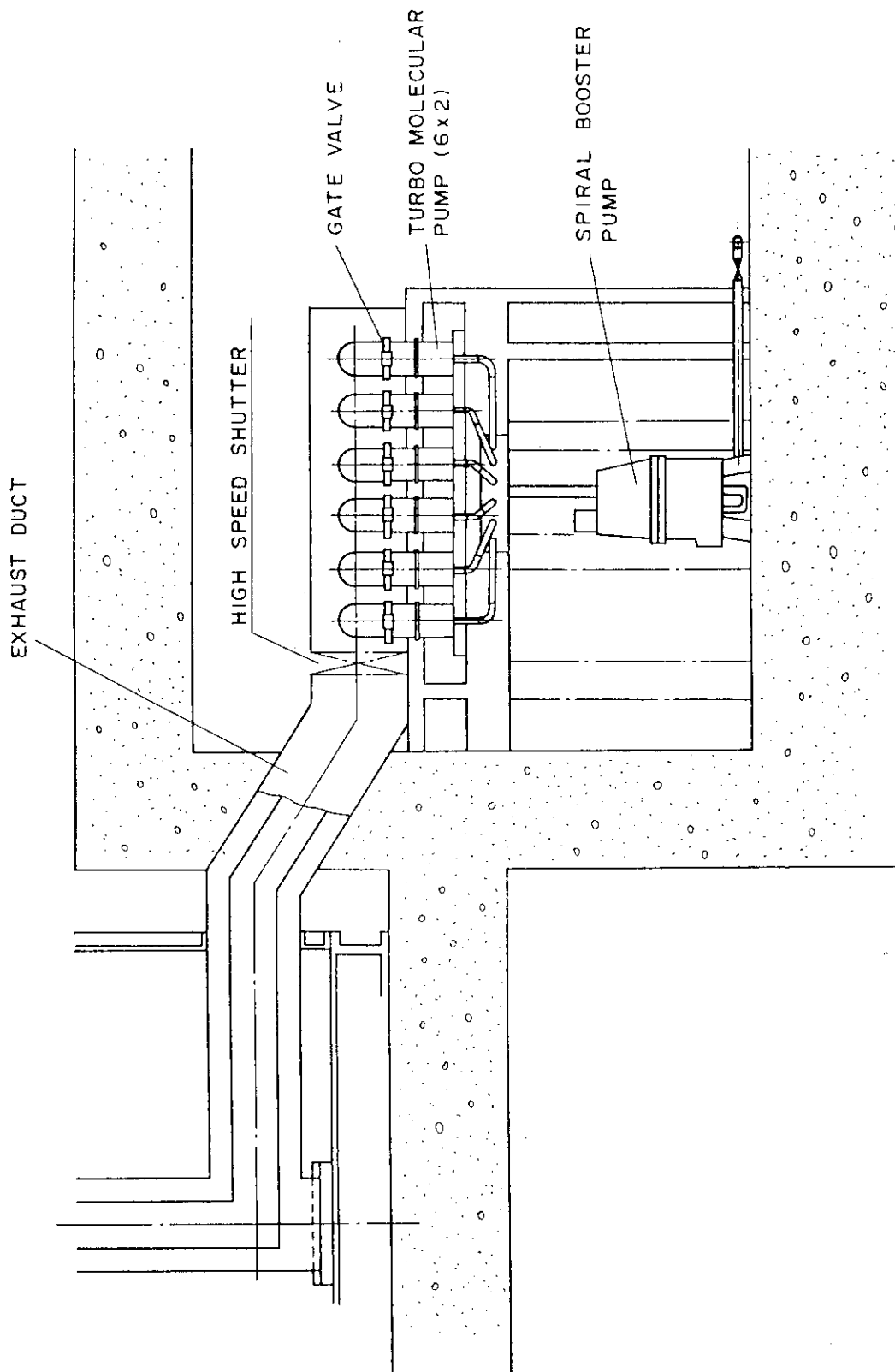


Fig. 5.1.5 Layout of vacuum system: Turbomolecular pump is used for the main pump. Required pumping speed at diverter throat is  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

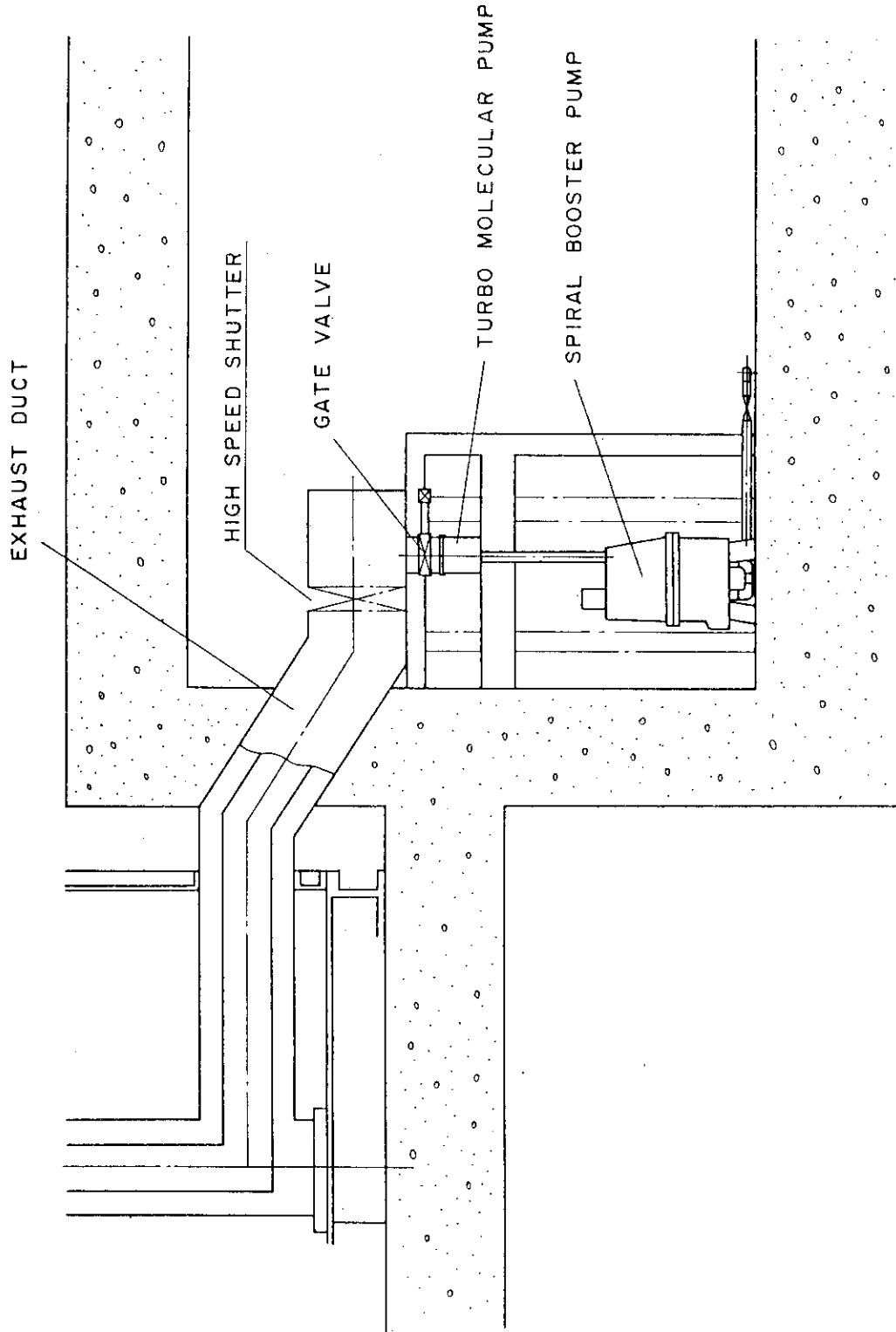


Fig. 5.1.1.6 Layout of vacuum system: Turbomolecular pump is used for the main pump. Required pumping speed at divertor throat is  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 5.2 燃料ガス循環系の設計検討

前述のように (P 138), ここでは燃料ガス貯蔵系の設計に重点を置いて検討することとした。

### 5.2.1 燃料ガス貯蔵系の基本構成の検討

FERにおいては、ブランケットでのトリチウム生産を試験的に実施するのみで、トリチウム増殖は行わないことを基本設計方針としている。このため、同位体分離系から生じる  $T_2$ , DT を再使用しても必要量には満たない。このことから、燃料ガス貯蔵系の意義を、系の運転モードの変化による一時的な  $T_2$ , DT,  $D_2$  の貯蔵と初期装荷用の  $T_2$  等の貯蔵にあると考えた。

運転モードとの兼合い等考慮して、トリチウム初期装荷量を 1.5 kg, 同位体分離系から生じる  $T_2$ , DT,  $D_2$  のうち最大量の DT を約 10 時間分貯蔵できる規模とした。

#### i) 燃料貯蔵方法の選択

燃料貯蔵方法として以下の方法等が考えられる。

ア. ガス状にてタンク貯蔵

イ. 活性炭, モレキュラシーブ等による低温吸着貯蔵

ウ. 金属水素化物として貯蔵

このうち、アのタンク貯蔵は、水素の貯蔵という観点からは一般的であって、初期装荷量が標準状態で  $5.6 \times 10^3$  Nℓ に過ぎず、通常の加圧タンクの容量からみて特に支障はない。しかし、トリチウムが放射性であるという観点からすると、これを拡散しやすい単体ガスのまま大量に貯蔵することは、加圧の場合のみならず常圧でも安全上好ましくない。従って、初期装荷用には  $D_2$  の場合に限って、この方式を考慮するものとした。

イの低温吸着貯蔵は、加圧操作を要さず、減圧下で貯蔵できる点が優れている。しかし、冷媒を必要とし、冷媒喪失があると昇圧する。また、活性炭はトリチウムの  $\beta$  線の作用で炭化水素を生成することがあり、モレキュラシーブは残存水との同位体交換が起こりうる。また、トリチウムの  $\beta$  壊変によって生じる He を分離する手間を考える必要がある。

ウの金属水素化物貯蔵法は、既に海外では実績を有し、U, Ti 等が用いられている。<sup>(33)~(36)</sup> また、これに代る物質として各種の合金類が研究されている。<sup>(37),(38)</sup>

この方法は、トリチウムを金属水素化物として貯蔵するもので、次の特徴を有する。

- a. 貯蔵圧が極めて低い。
- b. 漏洩の危険が小さい。
- c. 常温で吸蔵可能。
- d. 不純物の精製も可能。
- e. 昇温により容易に再放出させることが可能。

以上から、今回はトリチウム貯蔵法として、ウの金属水素化物法を採用することとし、以下に吸蔵材料として、ウラン, ZrNi 合金の場合を検討するものとした。

#### ① ウラン水素化物

水素吸蔵金属として、ウランは最も一般的である。あらかじめ水素で活性化したウラン粉体は、





の反応によって常温でトリチウムと反応して、 $UT_3$  を形成し、加熱するとガス状トリチウム単体を放出する。常温での水素の解離平衡圧は、高温からの外挿法で  $10^{-6}$  torr 程度といわれており、<sup>(39)</sup> 貯蔵圧を極めて低く保つことができる。また再使用のためには、加熱することによって、圧の上昇が可能であり、1気圧の解離圧を示すのは  $432^\circ\text{C}$  程度と云われている。<sup>(33)</sup>

しかし、ウラン金属を使用する場合、次の欠点を有する。

- (i) トリチウム放出のために  $400^\circ\text{C}$  近辺の温度を必要とするため、金属透過の問題が生じる。
- (ii) 活性化されたウランはミクロン以下の微粉となつてきわめて飛散しやすい。また、圧損も大きい。
- (iii) 常温で空気中の酸素と激しく反応し、場合によっては発火する。
- (iv)  $\alpha$  崩壊する放射性物質であるため、微粉化した場合の取扱いが難しく、廃棄物処理も面倒である。
- (v) 水素の吸脱着による体積変化が著しく、吸着の際発熱(約  $30 \text{ kcal/mol}$ )するので貯蔵容器の構造設計が難しい。

以上のことから、従来より貯蔵容器の形状はトリチウム透過、体積変化、圧損等について対応したものが工夫されているが、まだ問題が残っている。

## ② ZrNi 合金水素化物

水素貯蔵合金の研究はまだ途上であり、比較評価を実施できるほどデータは整っていない。その中で、ZrNi 合金はウランに代る特性を持つ材料である。反応は次の通り。



このうち (5.2.3) 式の反応は速いが (5.2.2) 式は遅い。この合金の特性は次のようである。

- (i) トリチウムの放出に必要な温度がウランより低い。<sup>(注1)</sup> トリチウム透過量を小さくできる。
- (ii) 非放射性物質である。
- (iii) 水素による活性化によって微粉化されるがウランより粒径が大きい。超微粉にならなくても性能に大きな差はない。圧損は大きくならない。
- (iv) 酸素と常温で反応するがウランほど激しくない。
- (v) 水素の吸脱着による体積変化はウランより小さい。

これに対して、欠点として次のことが考えられる。即ち、常温における解離平衡圧がウランより高く、高温からの外挿によると  $10^{-5}$  torr 程度と推定される。<sup>(注2)</sup> また水素との反応速度もウランより遅い。しかし、いずれにしても (5.2.3) 式のように水素の反応を ZrNiT 迄におさえるとウランに匹敵するとも考えられる。

Zr Ni 合金についての研究はウランに比較しまだ不十分で実績もない。しかし、実験結果から判断すると、これらの問題点は設計上許容範囲にあると考え、ここでは Zr Ni 合金を使用することとした。

(注 1, 2)

250°Cで Zr Ni 約 210 torr (水素圧), ウラン約 5 torr (水素圧)。Fig. 5.2.4~5 に水素解離圧と温度の関係を示す。

Zr Ni に関し Fig. 5.2.5 から関係式を求めると

$$\log P = -4.041/T + 10.06 \quad (5.2.4)$$

ウランに関する文献値は

$$\log P = -4.410/T + 9.14 \quad (5.2.5)$$

ここで

P : 水素平衡解離圧 (torr)

T : 絶対温度 (K)

## ii) 燃料貯蔵系の基本構成

同位体分離系の D<sub>2</sub>, DT, T<sub>2</sub> ガス生成ラインと燃料注入系へ至るガス混合器の中間にそれぞれ、D<sub>2</sub>, DT, T<sub>2</sub> 用の Zr Ni 合金ベッドを設ける。このうち、D<sub>2</sub>, DT 用各 2 基は一時貯蔵用である。T<sub>2</sub> 用のうち 2 基は一時貯蔵用、8 基は初期装荷用、他の 2 基は予備である。各ベッドにはガス循環ができるようにサーキュレーションポンプのついた循環系を持ち、He ガスの導入ラインと吸引ラインを設ける。システムの概略フローダイヤグラムを Fig. 5.2.1 に P&ID を Fig. 5.2.2 に示す。

なお、今回の設計で使用する Zr Ni ベッド類は、加熱時のトリチウム透過を防止する構造を持っているが、安全のためグローブボックス内に設置することとする。

同位体分離系から生成する D, T, 含有ガスの燃料注入系への不足分を補うために貯蔵系で加える量を示した物質収支の計算値を Table 5.2.1 に示す。

### 5.2.2 Zr Ni 合金ベッドの基本構造と運転モード

Zr Ni 合金ベッド燃料ガス貯蔵器は網目状の穴を多数持つ Zr Ni 合金粉の詰った第一層とそれを囲む Zr Ni 合金粉の第二層を持つことに特徴を有する。加熱は第一層と第二層の境にある発熱体により、冷却は外部を水冷することによる。構造の概略は Fig. 5.2.3 に示す。

トリチウム等の水素同位体ガスは、ガス圧が十分存在する時は拡散によって矢印の方向より第一層に常温で吸収される。吸収で生じる発熱は網目状の金属構造を通して伝達され、第二層 Zr Ni 粉と熱除去ラインを通じ外部冷却水によって除去される。

この構造は多くのウランベッドがベッド周囲を真空構造としトリチウム透過を防いでいるのとは比べて熱伝導が大きく有利である。トリチウムガスの圧力が低下 (数 torr 以下) すると吸蔵速度が遅くなる。一時貯蔵の場合は、残存トリチウム等がタンクに送られるが、初期装荷等で系内のトリチウムを完全にパージする必要がある場合は He を系に導入し強制的にトリチウムを循環させる。この不活性ガスのサーキュレーションは系内のトリチウムに不純物が混入した際の拡散速度の低下を防ぐとともに除熱にも役立つ。

ここで使用した He は、使用後入口ラインを閉じた上吸引することによってトリチウムを Zr Ni 合金に吸蔵させたまま除去できる。不活性ガス He の系への導入は、T を長期貯蔵する時は必ず壊変によって He が発生する以上、問題ではない。

トリチウムの Zr Ni 合金ベッドから系への移行は、温度を約 280°C に上昇させることによって容易にできる。この放出速度は U と比べて速い。方向は導入の場合と逆になる。トリチウムの金属透過は 400°C 附近を境に急激に大きくなることが知られており、U にくらべて低い温度で放出できるので有利である。

ベッドの第二層は Zr Ni 合金粉が充填されており、外部を冷却することによって、高温となった第一層の外壁から放出されるトリチウムを捕集できる。これによって外部への透過は殆んどない。Zr Ni 合金等二層外側にある発熱体は第二層の活性化用であり、活性化後は使用しない。

### 5.2.3 Zr Ni 合金ベッド燃料ガス貯蔵器仕様

員数	(D <sub>2</sub> 用)	3基(内1台予備)
	(DT用)	3基(内1台予備)
	(T <sub>2</sub> 用)	12基(内2台予備)
型式	Zr Ni 合金 2 重層円筒型 (外部冷却)	
使用温度	常温 (吸収時) ~ 280°C (放出時)	
使用圧力	570 torr ~ 0 kg/cm <sup>2</sup> G	
充填材	Zr Ni 合金	18.7 kg (第一層) 182 kg (第二層)
吸蔵量	21 mol / 基 (H <sub>2</sub> )	
寸法	内部容器	300 φ × 500 H
	外部容器	700 φ × 1000 H

### 5.2.4 安全を確保するための方策の検討

本設計検討では次のような方法を採用した。

#### i) トリチウム透過防止

##### ① 使用温度の限定

トリチウム金属透過は温度に依存するので、使用温度を下げ 280°C を最高とする。

##### ② Zr Ni<sub>2</sub> 重層の設置

トリチウム放出時高温となる第一層外壁の外側に Zr Ni 第二層を設けて外側も冷却する。第二層に漏洩トリチウムの捕集に用いる。

##### ③ グローブボックス内に格納

グローブボックス内に格納し、雰囲気トリチウムをモニタする。

##### ④ 冷却水中のトリチウムモニタ

漏洩の有無をチェックする。

#### ii) 内圧上昇防止

Zr Ni 合金ベッドの温度制御不能による昇圧対策のために次の防止策をとる。

- ① 最高温度 290℃ 以上にならないよう温度制御装置を 2 段つける。
- ② 加熱ヒータの容量を小さくし、昇温速度を落とす。
- ③ 容器は 50 kg 耐圧構造とする。
- ④ 冷却水の流れの停止を判断できる装置をつける。

iii) Zr Ni ベッドの余裕

T<sub>2</sub> 等水素同位体の貯蔵設計容量の 6 倍量の Zr Ni 合金を使用する。

iv) 循環ポンプ不良対策

循環ポンプ不良の場合は拡散によってトリチウム等を Zr Ni ベッドに吸蔵可能である。

Table 5.2.1 Material balance of fuel gas storage system

STREAM		1	2*	3	4	5	6	7	8*	9	10
FLOW RATE ( mol/hr )		2.620	0.982	1.504	2.098	4.151	→	1.671	0.372	2.043	8.292
H		0.563 (-3)	0.001	0.001	0.001	0.194 (-5)	→	0.183 (-15)	0.006	0.001	0.001
D		0.999	0.999	0.999	0.999	0.491	→	0.330 (-3)	0.104	0.004	0.4995
T		0.369 (-2)	—	< 10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup>	0.509	→	0.997	0.990	0.995	0.4995

\* ATOMIC FRACTION is assumed

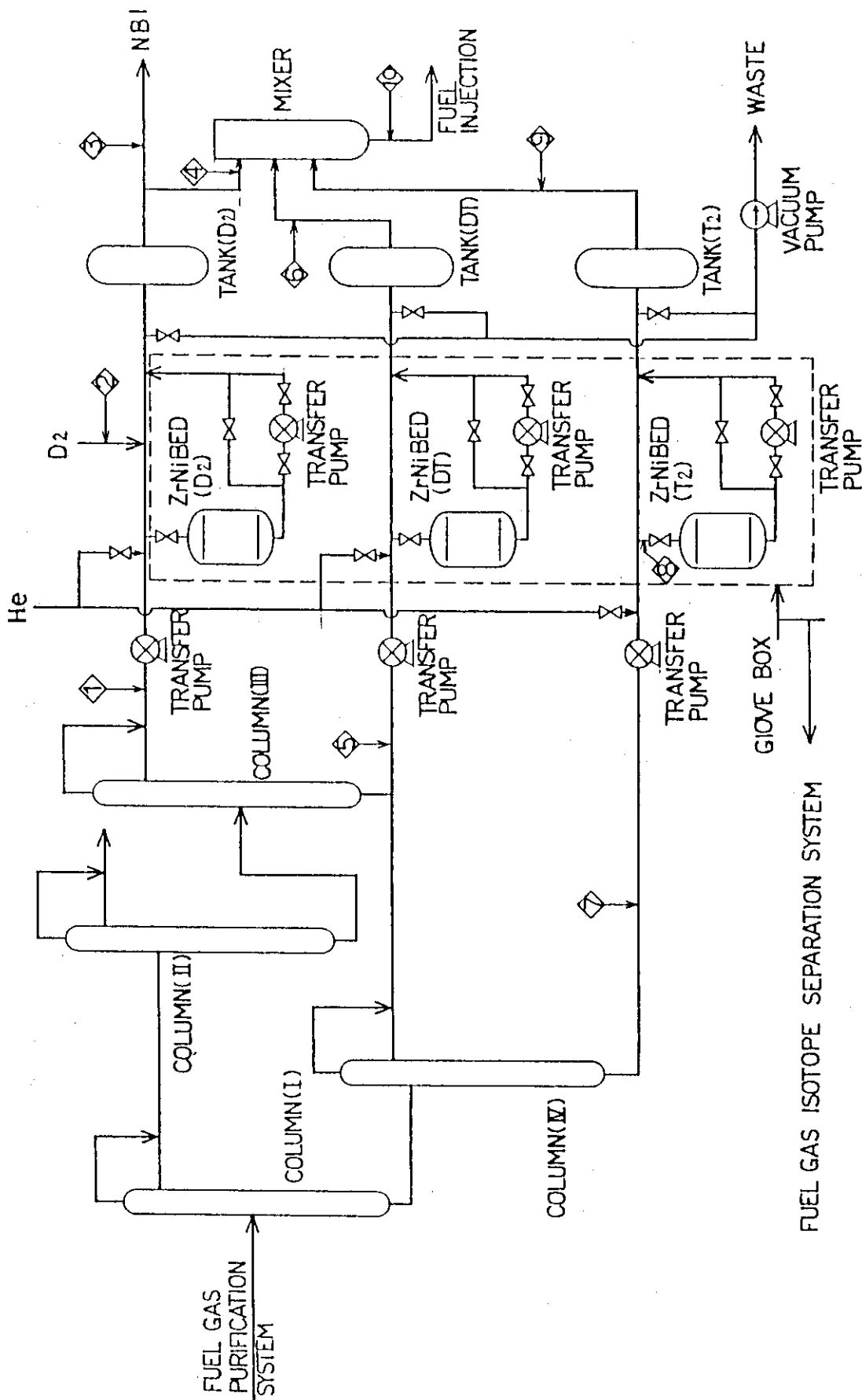


Fig. 5.2.1 PFD of fuel gas storage system

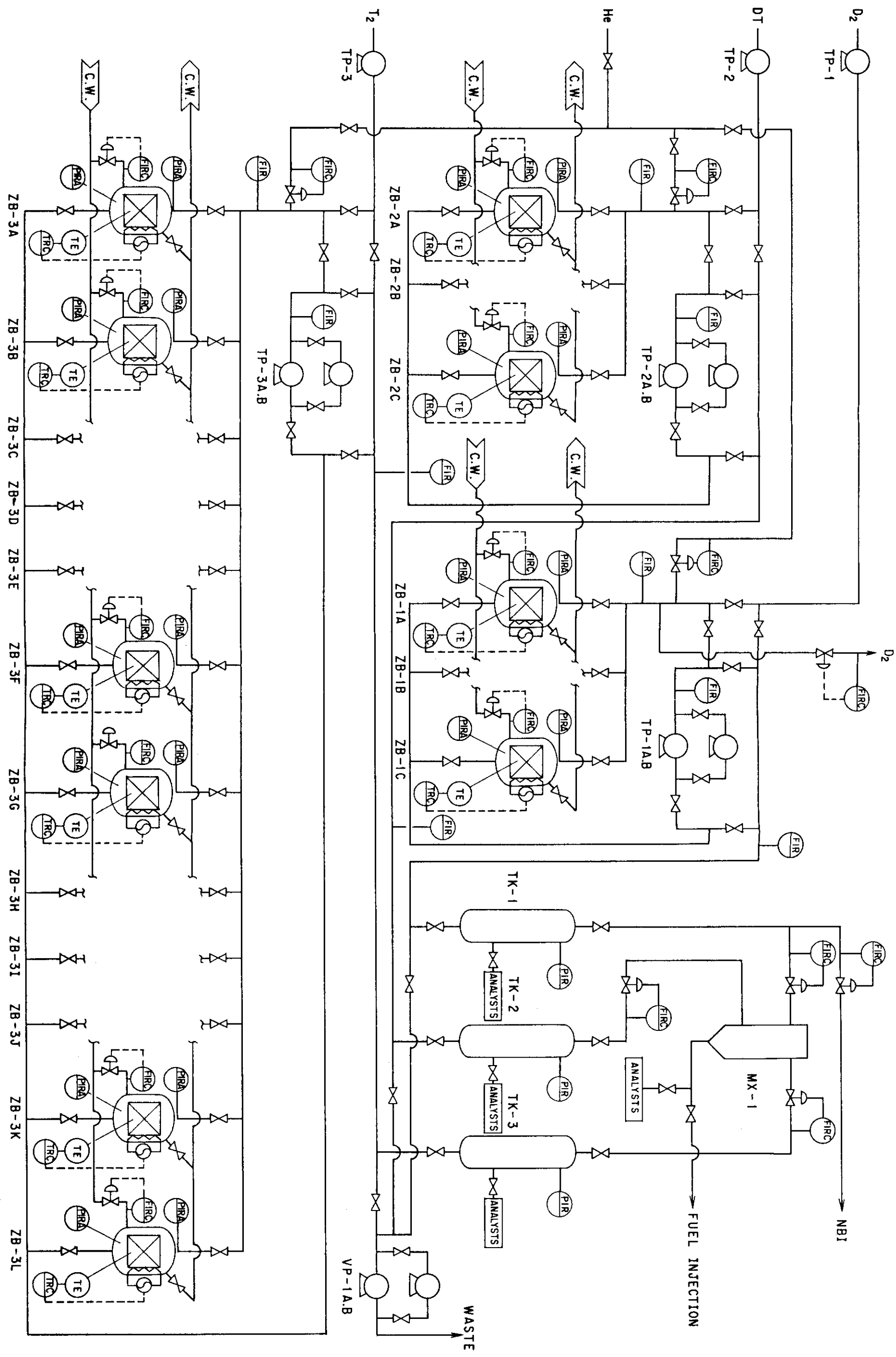


Fig. 5.2.2 P & ID of fuel gas storage system

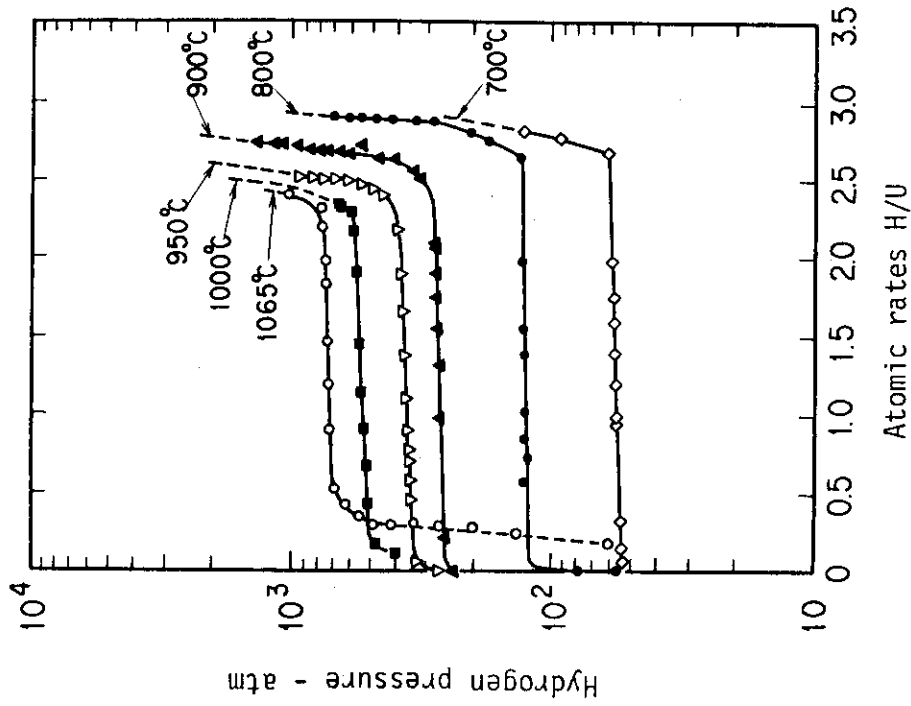


Fig. 5.2.4 Isothermal absorption curve for the U-DH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> system

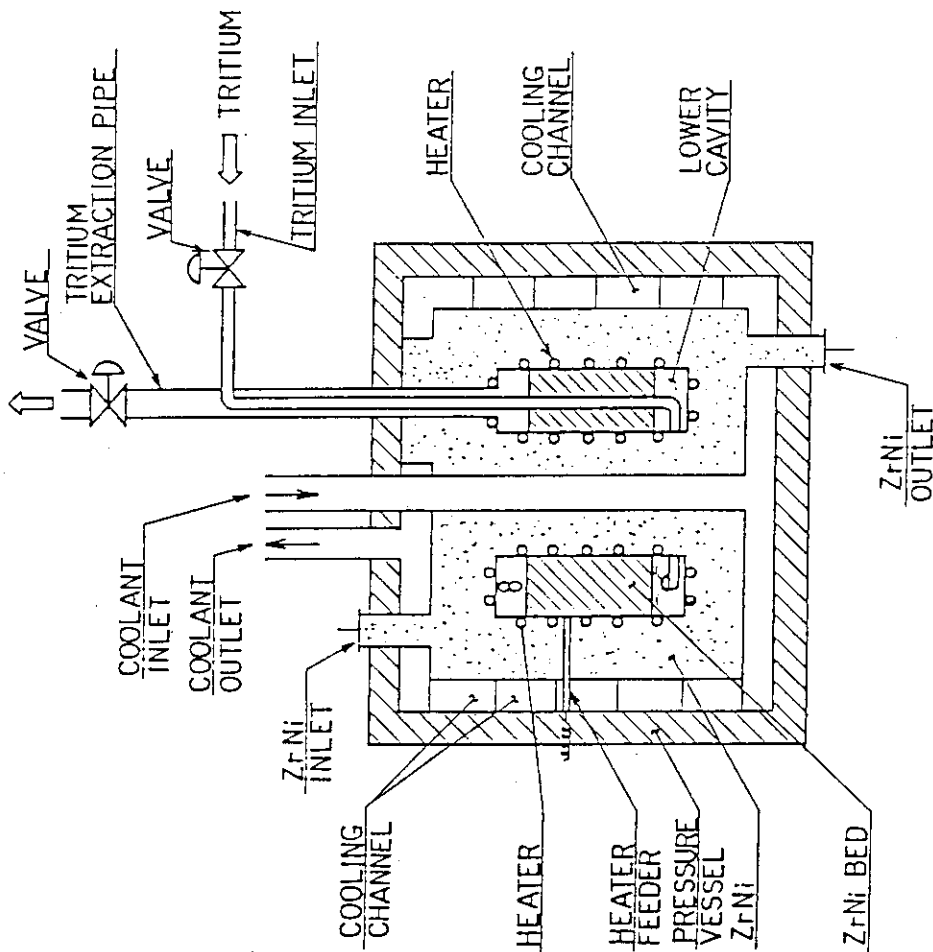


Fig. 5.2.3 ZrNi bed



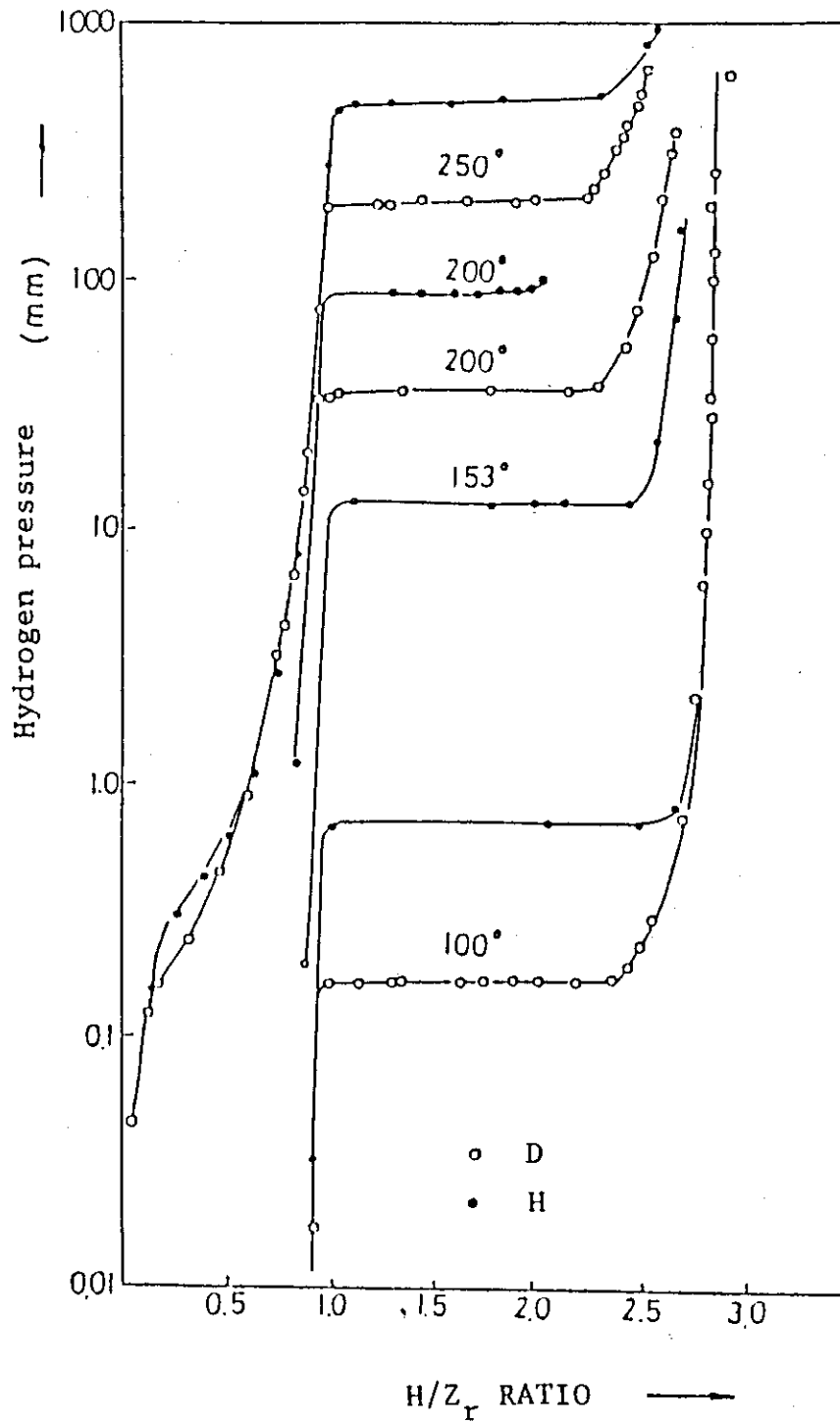


Fig. 5.2.5 Pressure-composition isotherms<sup>(40)</sup> for the ZrNi-hydrogen system

## 6. 換気空調系・雰囲気トリチウム浄化系の設計検討

核融合施設に於ける換気空調系は、建屋内各機器の信頼性、作業員の作業性を維持するために室内温湿度及び気流を調整すると共に、燃料ガスのトリチウムを取扱う機器・装置から空気中へ漏洩したトリチウムを除去して、室内雰囲気トリチウム濃度を目標値以下に低減することを目的とする。また、環境への大量放出を防ぐため、雰囲気トリチウム浄化系を有するものとした。

前回の JAERI - M 86 - 149 「2.3 室内換気空調系、雰囲気トリチウム浄化系」における検討結果を踏まえ、上流側各設備の設計進捗に鑑み、各系統（収納室）発熱量、トリチウム発生量等の基本条件を見直すと共に、処理方式そのものも合理化見直しを行った。

### 6.1 設計方針

前回の検討では、当初の計画として、トリチウム量が問題にならないほど小さい場合でも、常に環境放出量を極力低減することとし、次のように考えていた。

- ① 軽水炉のように Once-through（全外気）方式とはせず、建屋内循環換気法とする。但し、作業員の酸欠防止の為必要な酸素供給分のみを外気との間で給排気させる。
- ② 雰囲気トリチウム浄化系は通常時、緊急時とも一式で兼用させる。このため、通常時は換気空調系、雰囲気トリチウム浄化系とも各部屋並列に循環させるものとし、事故時は、事故発生室の換気空調系のみを止め、雰囲気トリチウム浄化系を事故発生室専用を使う。

ところが、通常時炉本体室のトリチウム発生量が、スタックから環境へ放出しても問題にならない程度にもかかわらず、室内に封じ込めて雰囲気トリチウム浄化系で室内目標値以下に除去低減すると異常に大きな設備になることが明らかになった。

そこで、当初計画を変更し、炉本体室のみは通常時に雰囲気トリチウム浄化系を使わず、全外気方式によりそのままスタックから環境へ放出するものとして前回の結果がまとめられた。

ところで、通常時室内雰囲気トリチウム量が最大である炉本体室で全外気方式とするならば、それより量の小さな他の部屋を隔離して雰囲気トリチウム浄化系を使っても意味がない。前回の結果には、このような矛盾を含んでいたため、今回は次のようにした。

- i) 炉本体建屋内を作業員入室頻度、通常時トリチウム発生の可能性により、Red、Amber、Green の 3 ゾーンに分け、ゾーン別に換気空調する。
- ii) 換気は軽水炉と同様に全外気方式を原則とする。
- iii) 雰囲気トリチウム浄化系は通常時は運転せず、炉本体分解修理時、事故時において大量トリチウムの発生した室を集中的に浄化する。閉回路・循環浄化方式とし、換気空調系はダンパで隔離する。
- iv) 建屋内各室は、通常時、分解修理時、事故時の如何によらず負圧に維持されるものとする。このため、炉本体分解修理時、事故時の雰囲気トリチウム浄化対象室からは適宜室外へ排出させる必要があり、このための大気放出ラインにも大気放出用トリチウム浄化系を設置する。

V) トリチウムの室内壁, 機器へのソーキング効果は無視する。

## 6.2 設計条件

今回の設計では次の値を用いた。

### i) 設計外気条件

夏季 気温 32°C 相対湿度 68%

冬季 気温 -3°C 相対湿度 50%

### ii) 設計室内温湿度条件

Red, Amber, Green各ゾーンとも下記の通り。

室温 最高 40°C, 最低 10°C

相対湿度 60%以下とする。

### iii) 通常運転時室内目標トリチウム濃度

Red :  $2.0 \times 10^{-6}$  Ci/m<sup>3</sup>

Amber :  $2.0 \times 10^{-7}$  Ci/m<sup>3</sup>

Green :  $2.0 \times 10^{-7}$  Ci/m<sup>3</sup>

### iv) 換気回数

各室毎の換気回数は概ね下記の値を最低回数とした。

Red : 1.0 回/h

炉本体室 : 0.6 回/h

Amber : 1.0 回/h

Green : 0.5 回/h

通路 : 0.3 回/h

換気回数は主として空気中の放射能濃度, 局所的な空気の淀み, 臭気対策, 熱負荷等を考慮して決定されるべきものである。

### v) 気流

各ゾーン負圧とするが, 空気の流れが放射能レベルの低い方から高い方へと向うように配慮し, 下流の放射能レベルの高いゾーンほど負圧が大きくなる。

## 6.3 ゾーニング概念と各室の仕様

ゾーニングについては明確な定義はなく, 概ね以下のように考えた。

Red : 他のゾーンと比較してトリチウム漏洩の可能性が大きいゾーン, または通常時人の居ない区域

Amber : トリチウム漏洩の可能性が, Red, Greenの中間のゾーン, または通常時人の入ることがある区域。

Green : 他のゾーンと比較してトリチウム漏洩の可能性が小さいゾーン, または通常時人が居る区域

今回の設計で設定を仮定される炉本体建屋内の室別の、通常運転時、分解修理時、事故時の発熱量、トリチウム発生量、トリチウム許容量などの室内環境条件を Table 6.1 に示す。

炉本体室の事故は、全クライオポンプの最大インベントリが放出される場合を仮定し、約3週間でエアラインスーツを着用して作業可能なトリチウム濃度に除去低減することとした。

#### 6.4 系統構成

換気空調系のブロック線図を Fig. 6.1 に、雰囲気トリチウム浄化系のフロー線図を Fig.6.2 に示す。基本計画として以下のように考えた。

- i) Red, Amber, Green 各系統毎に独立した換気空調系を設置する。
- ii) Red, Amber 各系統は全外気方式とし、各室の雰囲気トリチウム濃度を許容値以下とする為に十分な外気を給気するものとする。
- iii) Green 系統は放射能汚染の可能性が極めて小さく、冷暖房負荷の低減を計るために再循環方式をとり入れた。これは、全外気方式とすると、給・排気とも 155,000 m<sup>3</sup>/h の送風機を 3 台必要とし割高になることによる。なお、直接排気量は次の各室で CO<sub>2</sub> 消火対象、冷媒ガスの漏洩等の場合も考慮したいので、その換気量の合計により決定した。
  - ・非常用電源室
  - ・ SF<sub>6</sub> ガス室
  - ・冷凍設備室
  - ・ HVAC (Green) 室
- iv) Red, Amber 各系統からの排気は、放射性物質等を極力除去する為にフィルタを通し、スタックから屋外へ放出するものとする。
- v) Green, Amber, Red の順に負圧度を高めることにより、放射能レベルの高いエリアから低いエリアへの気流が無いようにする。
- vi) 各系統とも通常時連続運転している動的機器には予備機をもたせ、保守、点検時にも系統の機能確保を計る。
- vii) Red, Amber 各系統の中でトリチウム漏洩事故によって大量のトリチウム放出が発生する可能性のある室については給・排気ダクトに隔離ダンパを設置し、事故発生室を換気空調系から隔離できるようにする。
- viii) トリチウム漏洩事故によって換気空調系から隔離された室は、室温が 80°C 程度まで上昇するものと想定して熱負荷計算を行う。
- ix) トリチウム漏洩事故は同時に 2ヶ所で発生することはないと考える。
- x) 各系統風量は以下の通り
  - ① 換気空調系 (HVAC)
    - Red : 260,000 m<sup>3</sup>/h
    - Amber : 70,000 m<sup>3</sup>/h
    - Green : 57,000 m<sup>3</sup>/h (全外気)
    - 310,000 m<sup>3</sup>/h (循環)

## ② 雰囲気トリチウム浄化系 (TCS)

循環処理用: 4,400 m<sup>3</sup>/h大気放出用: 1,500 m<sup>3</sup>/h

## 6.5 各機器の仕様と外形

## i) 換気空調系 (Red)

## ① 送風機 (直動型)

員 数 3 基 (1 台予備)

風 量 130,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 300 mmAq

所要動力 200 kW

## ② 排風機 (直結型)

員 数 3 基 (1 台予備)

風 量 130,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 410 mmAq

所要動力 280 kW

## ③ 給気用空調機

員 数 1 基

容 量 260,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 A タイプ

## ④ 排気用空調機

員 数 1 基

容 量 260,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 D タイプ

## ii) 換気空調系 (Amber)

## ① 送風機 (直動型)

員 数 2 基 (1 台予備)

風 量 70,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 300 mmAq

所要動力 110 kW

## ② 排風機 (直結型)

員 数 2 基 (1 台予備)

風 量 70,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 410 mmAq

所要動力 160 kW

## ③ 給気用空調機

員 数 1 基

容 量 70,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 B タイプ

④ 排気用空調機

員 数 1 基

容 量 70,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 C タイプ

iii) 換気空調系 (Green)

① 送風機 (直結型)

員 数 3 基 (1 台予備)

風 量 155,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 450 mmAq

所要動力 340 kW

② 排風機 (直結型)

員 数 2 基

風 量 57,000 m<sup>3</sup>/h

静 圧 250 mmAq

所要動力 75 kW

③ 給気用空調機

員 数 1 基

容 量 310,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 A タイプ

④ 排気用空調機

員 数 1 基

容 量 57,000 m<sup>3</sup>/h

型 式 C タイプ

IV) 換気空調系 (共通)

① 冷水ポンプ

員 数 4 基 (1 台予備)

容 量 8,000 ℓ/min

静 圧 50 mAq

所要動力 150 kW

② 冷凍機

員 数 4 基 (1 台予備)

容 量 800 USRT

型 式 ターボ冷凍機

所要動力 612 kW

③ ローカルクーラ (Green 送・排風機室)

員 数 2 台 (1 台予備)

風 量 10,000 m<sup>3</sup>/h  
 熱 負 荷 65,300 kcal/h  
 型 式 Eタイプ  
 所要動力 15kW

④ ローカルクーラ (Amber, Red 排風機室)

員 数 2台 (1台予備)  
 風 量 16,000 m<sup>3</sup>/h  
 熱 負 荷 85,900 kcal/h  
 型 式 Eタイプ  
 所要動力 15kW

⑤ ローカルクーラ (Green 炉下部室)

員 数 4台 (1台予備)  
 風 量 20,000 m<sup>3</sup>/h  
 熱 負 荷 28,700 kcal/h  
 型 式 Cタイプ  
 所要動力 15kW

⑥ ローカルクーラ (Red 炉下部室)

員 数 4基 (1台予備)  
 風 量 23,000 m<sup>3</sup>/h  
 熱 負 荷 32,900 kcal/h  
 型 式 Cタイプ  
 所要動力 15kW

V) 雰囲気トリチウム浄化系

Table 6.2 ~ 6.3 に示す。

以上の各機器外形図を, Fig. 6.3 ~ 6.9 に示す。

## 6.6 機器配置図

設計された主要機器配置を Fig. 6.10 ~ 6.13 に示す。

## 6.7 概略ダクト単線図

Fig. 6.14 ~ 6.18 に示す。

## 6.8 所要ユーティリティ

本システムに必要なユーティリティのうち, 冷却水, 蒸気, 窒素ガス, 水素ガス, 電気関係につき各々 Table 6.4 ~ 6.5 に示す。

## 6.9 系統運転

### i) 通常運転時

緊急時トリチウム除去系をスタンバイモードとした後、Red, Amber, Green 系統の順に換気空調系を起動し通常運転に入る。送・排風機の起動順位は、各系統とも排風機、送風機の順とする。

停止はGreen, Amber, Red の順とし、送・排風機停止順位は各系統とも送風機・排風機の順とする。

### ii) 事故時

異常なトリチウム放出はトリチウムモニタによって検出され、TCS はスタンバイモードを解除し事故時モードとなる。

以下に事故時モードに至る経過を示す。

- 1) 雰囲気中トリチウム濃度高警報を発する。
- 2) 更にトリチウム濃度が上昇した場合には雰囲気中トリチウム濃度異常警報を発し、給・排気ダクトに設置されている隔離ダンパを閉とすることによって、換気空調系から警報発生室を隔離する。
- 3) 雰囲気中トリチウム濃度異常警報によって TCS は事故時モードとなり、警報発生室と閉ループを構成することによって室内へ放出されたトリチウムを集中的に処理する。

## 6.10 必要外気量・雰囲気トリチウム浄化系処理風量算出モデルと設定

### i) 必要外気量

通常時、Amber, Red 系統は外気にて雰囲気中トリチウム濃度を許容値以下に保つものとする。任意室への必要外気量を求める為のモデルを Fig. 6.19 に示す。

雰囲気中トリチウム濃度は次式で与えられる。(記号, 単位は Fig. 6.19 参照)

$$V \cdot \frac{dc}{dt} = T - W \cdot C \quad (6.1)$$

定常状態であるから、雰囲気中トリチウム濃度を許容値以下とする為の給気風量 W は次式を満足させる必要がある。

$$W \geq \frac{T}{C_0} \quad (6.2)$$

ここで、 $C_0$  ci/m<sup>3</sup> : 雰囲気中トリチウム許容濃度

### ii) 雰囲気トリチウム浄化系 (TCS) 処理風量

#### ① TCS 処理風量

TCS 処理風量を求める為のモデルを Fig. 6.20 に示す。

雰囲気中トリチウム濃度変化式は次式で与えられる。(記号, 単位は Fig. 6.20 参照)

$$V \cdot \frac{dc}{dt} + W_1 \left\{ 1 - \frac{1}{DF_1} \left( 1 - \frac{W_2}{W_1} \right) \right\} \cdot C = 0 \quad (6.3)$$



初期条件を

$$t = 0 \text{ にて } C = \frac{C_E}{V}$$

とすると解は次式となる。

$$C = \frac{C_E}{V} \exp \left[ -\frac{W_1}{V} \left\{ 1 - \frac{1}{DF_1} \left( 1 - \frac{W_2}{W_1} \right) \right\} \cdot t \right] \quad (6.4)$$

前式より、 $T_L$  時間後に雰囲気中トリチウム濃度を許容濃度  $C_0$  ( $\text{ci}/\text{m}^3$ ) まで低下させる為には、処理風量  $W_1$  は次式を満足する値でなくてはならない。

$$W_1 \geq \left( \frac{1}{DF_1} - 1 \right)^{-1} \cdot \left( \frac{V}{T_L} \ln \frac{C_0 \cdot V}{C_E} + \frac{W_2}{DF_1} \right) \quad (6.5)$$

② 事故時に於るスタックからのトリチウム放出量

トリチウム漏洩事故が発生してから時刻  $T_L$  までにスタックから屋外へ放出されるトリチウム量  $M_L$  ( $\text{ci}$ ) は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} M_L &= \frac{1}{DF_1 \cdot DF_2} \int_0^{T_L} W_2 \cdot C \, dt \\ &= \frac{\alpha \cdot C_E}{\beta \cdot DF_1 \cdot DF_2} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{\beta \cdot W_1}{V} \cdot T_L \right) \right] \end{aligned} \quad (6.6)$$

ここで  $\alpha = \frac{W_2}{W_1}$  ,  $\beta = 1 - \frac{1}{DF_1} (1 - \alpha)$

$M_L$  は次式で近似できる。

$$\begin{aligned} M_L &= \lim_{T_L \rightarrow \infty} M_L \\ &= \frac{\alpha \cdot C_E}{\beta \cdot DF_1 \cdot DF_2} \end{aligned} \quad (6.7)$$

iii) 必要外気量、雰囲気トリチウム浄化系処理風量の設定

Table 6.1 に示したインプット条件を基に、(6.2)、(6.5) 式を用いて必要外気量、TCS 処理風量を算出した結果を Table 6.6 に示す。算出に際しては (6.5) 式にて

$$DF_1 = 100, \quad W_2 = 0$$

とした。

Table 6.6 より、事故によって室内へ放出したトリチウムを集中処理する為の TCS 処理風量を  $4400$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) とする。これは、炉本体室にて事故が発生した場合、エアラインスーツを着用して立入ることのできる濃度  $200 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$  まで雰囲気中トリチウム濃度を低下させるのに

約3週間必要とする風量である。また、負圧維持ラインに設置するTCS処理風量は下記の想定に基づいて設定し、その処理風量を1500 (m<sup>3</sup>/h) とする。

炉本体室の空気漏入量をその体積について10%/day と想定する。

$$\frac{250900 \text{ m}^3}{(\text{炉本体室体積})} \times 0.1 \times 1/24 \text{ h} \approx 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### iv) 屋外へ放出されるトリチウム量の推定

(6.7)式を用いて算出した結果をTable 6.7に示す。

TCSよりスタックを通して屋外へ放出されるトリチウム総量は、約数十～数百Ci程度と考えられる。

### 6.11 被換気空間における放射性廃棄物の発生量

換気系の設計に関連するインプット条件として、気体、液体の廃棄物発生量を考察するものとする。

#### (I) 気体廃棄物

発生する核種と量、従業員の被曝、大気放出する際の許容の度合等を考察した。

##### i) 気体廃棄物の種類

発生する気体廃棄物には、トリチウムが先づ考えられるが、これはトリチウムを取扱う系統でのプロセス廃棄物のほか、同系統のプロセス流途中で器壁を直接透過漏洩して室内に拡散する場合を考慮する必要がある。

次に、炉室周辺の空気の誘導放射化物を考慮する必要がある。これには、<sup>13</sup>N, <sup>16</sup>N, <sup>41</sup>Ar, <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>Tが考えられる。

トリチウム(誘導放射化物として発生する分は除く)の発生量とその処理については「5.燃料ガス循環系の設計検討」、および「6.換気空調系、雰囲気トリチウム浄化系の設計検討」において述べたので、ここでは誘導放射化物について検討する。

##### ii) 気体誘導放射化物の発生量

室内空気中の気体誘導放射化物の量は次式で表わされる。

$$\frac{dN}{dt} = P - \lambda N - fN \quad (6.8)$$

ただし、

N : 室内における核種濃度 (n/m<sup>3</sup>)

t : 経過時間 (day)

P : 核種生成率 (n/m<sup>3</sup>/sec)

λ : 崩壊定数 (1/sec)

f : 換気回数 (1/sec)

これより、室内濃度は次式のように計算される。

$$N = \frac{P}{\lambda + f} [1 - \exp\{-(\lambda + f)t\}] \quad (6.9)$$

炉の運転時間が十分長ければ  $t \rightarrow \infty$  として

$$N = P / (\lambda + f) \quad (6.10)$$

このような空気中の誘導放射化物は、炉本体室（1F～3F）に著しいと考えられる。計算結果を、Table 6.8 に示す。

### iii) 処理システムの必要性

前述の計算結果から、炉停止直後では  $^{41}\text{Ar}$  の濃度が許容濃度（MPC）を上まわるが、それでも2時間経てばMPCを下まわるまで減衰する。また、他の核種も問題にならない。さらに、換気空調系の換気率0.6/hrを考慮すれば、2時間でほぼ完全に建屋外に放出されてしまい、従業員の被曝は考えられない。

従って、空気中の誘導放射化物に対しては、特別に処理システムを考慮する必要はないと考える。

## (II) 液体廃棄物

液体廃棄物は炉の運転中のみならず、分解修理時、定期点検時、事故時の如何を問わず常に発生すると考えられる。現時点はFERシステム全体として計画の途中にあり、その発生量の全体は把握しづらいがプラント全体の概念をより具体的に把握すること、および安全上の考察を先に進めていく上で、現時点でも可能な範囲で検討を進めておく必要がある。

ここでは、廃液種類、発生量を検討した。

### i) 液体廃棄物の種類

運転モードにより異なり次のように考えた。

#### ① 通常運転時

1次冷却水（ダイバータ用、第一壁用、遮蔽体用）の系外漏洩ドレン（床ドレン）、換気空調系湿分凝縮ドレン、燃料ガス循環系機器ドレン、洗濯廃液、シャワードレン等

#### ② 炉本体分解修理時

通常運転時に発生するものは引続き発生するが、その他に、炉本体室浄化のために雰囲気トリチウム浄化系が運転され、そのプロセス凝縮水が機器ドレンとして発生する。

#### ③ 炉本体事故時

炉本体分解修理時と同様に考える。

#### ④ 定期点検時

点検の内容にもよる。炉本体分解修理時に考えられるものは全て可能性がある。その他1次冷却水の抜き取り、設備の除染などを実施すれば、各々廃液が発生する。

#### ⑤ 炉停止時

通常運転時と同様に考える。

#### ⑥ その他の事故時

1次冷却系の破損事故では大量の冷却水が放出される。その他、火災事故等があった場合の対応等、未検討の場合が多々あると思われるので今後の課題となる。

### ii) 液体廃棄物発生量

FERシステム全体の計画の進捗状況に鑑み、廃液発生量については推算不可能な系統が多い。ここでは、現時点で比較的推算しやすいものを検討した。

## ① 1次冷却系（床ドレン）

ダイバータ，第一壁，遮蔽体を各々別系統として独立させている。このうち，炉寿命範囲でプラズマから打込まれるトリチウムが浸入してくる可能性のあるのはダイバータ冷却系のみである。

弁類等冷却水漏洩可能性のある箇所の個数，一箇所当りの漏洩量から推算される。即ち，ダイバータ冷却系では  $0.24 \text{ m}^3/\text{day}$ ，第一壁冷却系では  $0.48 \text{ m}^3/\text{day}$ ，遮蔽体冷却系では  $1.68 \text{ m}^3/\text{day}$ ，いずれも通常運転時，分解修理時，定期点検時，停止時を問わず発生する。

また，1次冷却系事故として，配管破損事故を想定し，隔離弁閉までの時間を  $5 \text{ sec}$ ，それまでに通常運転時流量の2倍が流出すると考え3系統の各々につき  $7.45 \text{ m}^3$ ， $14.3 \text{ m}^3$ ， $44 \text{ m}^3$  と算出した。但し，仮定の適否は今後の課題である。

## ② 換気空調系湿分凝縮ドレン（スチームドレン）

設計外気湿度条件と，空調機の冷却管温度との差による凝縮ドレンを考慮する。いずれも，大気からの給気であり，放射能は含まない。グリーン，アンバー，レッド各ゾーンの給気のドレンは一括して  $3.42 \text{ m}^3/\text{hr}$  と算出された。換気空調系は，いずれの運転モードでも停止させることはないと考えた。

## ③ 雰囲気トリチウム浄化系（機器ドレン）

炉本体分解修理時，事故時のみ発生する。換気空調系ダクトは隔離ダンパを閉じることによって室外と遮断されるので，新たに流入する湿分は室内負圧のためインリークする分のみであると考え，それまでに存在している室内湿度分に2倍の余裕を見込むこととした。但し，スワンピング用の湿分は不要と考えた。凝縮水として  $16 \text{ m}^3$  になる。

## ④ 洗濯廃液

軽水炉の設計実績に鑑みて  $10 \text{ m}^3/\text{d}$  とする。

## ⑤ シャワードレン

軽水炉の設計実績に鑑みて  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  とする。

## ⑥ その他

メンテナンス時の冷却水の抜き取り量，除染で発生する廃液量，あるいは，事故時の対応等は現時点では未検討であり，今後の課題とする。

以上のように，概略の廃液発生量を見積った結果を Table 6.9 に示す。

Table 6.1 Basic Condition of HVAC

設備名	ゾーン	温度 [°C]	湿度 [%]	通常運転時		分解修理費		事故時		部屋面積 [m <sup>2</sup> ]	部屋容積 [m <sup>3</sup> ]	ゾーンの 1	最大滞在人数					
				発熱量 (MW)	T発生量 (Ci/d)	T許容濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )	発熱量 (MW)	T発生量 (Ci/d)	T許容濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )				発熱量 (MW)	T発生量 (Ci)	T許容濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )	試験運 転備	ラ ス マ シ ン グ	止
ICRF増幅系	G	10~40	< 60	0.25	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1786	16100	3	4	—	—	4	—	—
HVAC(グリーン送・排風機)	G	10~40	< 60	93.5 × 10 <sup>-3</sup>	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1786	16100	3	2	2	2	2	2	2
ICRF増幅系	G	10~40	< 60	0.25	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1786	16100	2	4	—	—	4	—	—
熱交換器(A,C)	R	10~40	< 60	0.01	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	705	6350	2	2	—	—	2	—	—
HVAC(アゾバー, レッド送風機)	A	10~40	< 60	40.0 × 10 <sup>-3</sup>	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1058	9530	2	2	2	2	2	2	2
分解修理制御設備	G	10~40	< 60	0	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	517	4660	1	2	—	—	2	—	—
LHRF増幅系	G	10~40	< 60	0.226	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1234	11100	1	4	—	—	4	—	—
熱交換器(B)	R	10~40	< 60	0.01	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	541	4870	1	2	—	—	2	—	—
HVAC(アゾバー, レッド排風機)	A	10~40	< 60	0.127	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	1223	11000	1	2	2	2	2	2	2
LHRF増幅系	G	10~40	< 60	0.226	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	870	8700	B1	4	—	—	4	—	—
炉	R	10~40	< 60	0.5	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	5820	250900	1	10	—	—	10	10	10
ECRF増幅系	G	10~40	< 60	0.13	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	870	8700	B1	4	—	—	4	—	—
雰囲気トリチウム浄化系	A	10~40	< 60	0.1	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	870	8700	B1	2	2	2	2	2	2
SF <sub>6</sub> ガス	G	10~40	< 60	0	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	297	2970	B1	2	—	—	—	—	—
炉	R	10~40	< 60	0.2	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	3840	34600	B1	5	—	—	5	5	5
ペーキング用加熱器	R	10~40	< 60		2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	297	2970	B1	4	—	—	4	—	—
冷凍設備	G	10~40	< 60	0.001	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	882	7060	B2	5	3	3	—	—	—
制御配線	G	10~40	< 60	0.001	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	130	1040	B2	—	—	—	—	—	—
計測制御系	G	10~40	< 60	22.3 × 10 <sup>-3</sup>	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	717	5740	B2	2	2	—	2	—	—
ボンプ	R	10~40	< 60	0.01	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	882	16800	B2	2	—	—	2	—	—
冷却水タンク	A	10~40	< 60	0.01	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	318	2550	B2	2	—	—	2	—	—
トリチウム処理系	A	10~40	< 60	1.28 × 10 <sup>-3</sup>	6.00 × 10 <sup>-3</sup>	←	←	←	←	517	4140	B2	5	3	—	—	5	5
建屋電源	G	10~40	< 60	0		←	←	←	←	297	2380	B2	2	—	—	—	—	—
非常用電源	G	10~40	< 60	0.2		←	←	←	←	297	2380	B2	2	—	—	—	—	—
炉	G	10~40	< 60	0	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	←	←	←	←	4092	32800	B2	5	—	—	5	5	5

Table 6.2 List of Main Equipments for TCS for Release to Environment  
(1500m<sup>3</sup>/h)

機器名称	数量	寸法	設計圧力	設計温度	仕 様
循環プロロー吸入タンク	1	1000 $\phi$ × 2000H	1.5 kg/cm <sup>2</sup> ·G	40 °C	SUS 304, 内容積1.6 m <sup>3</sup>
循環プロロー吐出タンク	1	1000 $\phi$ × 2000	"	100 "	SUS 304, 内容積1.6 m <sup>3</sup>
循環プロロー A/B	2	850 × 960 × 2035	0.5 "	100 "	ハーメチック型, 185 kW, 2450 mmAq, 25m <sup>3</sup> /min
熱交換器	1	370 $\phi$ × 3000	1.5 "	200 "	多管式熱交, A = 8 m <sup>2</sup> , Q = 27900 kcal/H
触媒筒 (Pd)	1	1400 $\phi$ × 2000	1.5 "	200 "	壺形円筒, 触媒 1 m <sup>3</sup> , ヒーター容量52.56 kW
冷却器 (1)	1	370 $\phi$ × 3500	1.5 "	100 "	多管式熱交, A = 12.2 m <sup>2</sup> , Q = 23250 kcal/H
冷却器 (2)	1	420 $\phi$ × 3500	1.5 "	40 "	多管式熱交, A = 14.6 m <sup>2</sup> , Q = 18053 kcal/H
吸着筒 (MS) A/B	2	1600 $\phi$ × 2500	1.5 "	350 "	壺形円筒, MS 5 A 2.65 m <sup>3</sup> , ヒーター容量 4932 kW
Drain セパレーター	2	500 $\phi$ × 1500	1.5 "	40 "	サイクロンデミスター型
出口 FILTER A/B	2	1000 $\phi$ × 1800	1.5 "	40 "	0.3 $\mu$ m
再生プロロー	2	680 × 1570 × 900H	0.5 "	100 "	ハーメチック型, 22 kW, 850 mmAq, 5m <sup>3</sup> /min
再生冷却器 (1)	1	320 $\phi$ × 2700	1.5 "	350 "	多管式熱交, A = 41.3 m <sup>2</sup> , Q = 24180 kcal/H
再生冷却器 (2)	1	370 $\phi$ × 3500	1.5 "	40 "	多管式熱交, A = 10 m <sup>2</sup> , Q = 12353 kcal/H
再生冷却器 (3)	1	320 $\phi$ × 2700	1.5 "	350 "	多管式熱交, A = 41.3 m <sup>2</sup> , Q = 24180 kcal/H
再生冷却器 (4)	1	320 $\phi$ × 2700	1.5 "	350 "	多管式熱交, A = 41.3 m <sup>2</sup> , Q = 24180 kcal/H
Drain タンク	1	1000 $\phi$ × 2000 <sup>2</sup>	1.5 "	40 "	壺形円筒型, 1.57 m <sup>3</sup>
冷凍機及付属機器	2	3000 × 3000	9.9 "	40 "	水冷式, 17 kW, 30000 kcal/H
制御盤	1	3000 × 1500 × 2000H	—	—	自立型
弁 類	1 式	—	1.5 "	40 "	ペローシール弁
配管材	1 式	—	1.5 "	40 "	SUS 304 シームレス

Table 6.3 List of Main Equipments for Red-Amber-Zone TCS (4400m<sup>3</sup>/h)

機器名称	数量	寸法	設計圧力	設計温度	仕	様
循環プロロー吸入タンク	1	1500 $\phi$ × 2000 <sup>H</sup>	1.5 kg/cm <sup>2</sup> -G	40 °C	SUS 304, 内容積 3.53 m <sup>3</sup>	
循環プロロー吐出タンク	1	1500 $\phi$ × 2000	1.5 "	100 °C	SUS 304, 内容積 3.53 m <sup>3</sup>	
循環プロロー A/B	2	1160 × 2500 × 1500 <sup>H</sup>	0.5 "	100 °C	ハーマチック型, 55 kW, 2450 mmAq, 74 m <sup>3</sup> /min	
熱交換器	1	500 $\phi$ × 3500	1.5 "	200 °C	多管式熱交, A=23m <sup>2</sup> , Q=81840 kcal/H	
触媒筒 (Pd)	1	2500 $\phi$ × 3500	1.5 "	200 °C	整形円筒, 触媒 62 m <sup>3</sup> , ヒーター容量 149.2 kW	
冷却器 (1)	1	500 $\phi$ × 4500	1.5 "	100 °C	多管式熱交, A=3582 m <sup>2</sup> , Q=68250 kcal/H	
冷却器 (2)	1	550 $\phi$ × 4000	1.5 "	40 °C	多管式熱交, A=42.9 m <sup>2</sup> , Q=52941 kcal/H	
吸着筒 (MS) A/B	2	2600 $\phi$ × 4000	1.5 "	350 °C	整形円筒, MS 5 A 6330 kg/Bed, ヒーター容量 154.3 kW	
Drain セパレーター	2	1000 $\phi$ × 2000	1.5 "	40 °C	サイクロンデミスター式	
出口 FILTER A/B	2	1500 $\phi$ × 2000	1.5 "	40 °C	0.3 $\mu$ m	
再生プロロー A/B	2	850 × 1700 × 1100	0.5 "	100 °C	ハーマチック型 55 kW, 850 mmAq, 17 m <sup>3</sup> /min	
再生冷却器 (1)	1	420 $\phi$ × 3500	1.5 "	350 °C	多管式熱交, A=138 m <sup>2</sup> , Q=80600 kcal/H	
再生冷却器 (2)	1	500 $\phi$ × 4000	1.5 "	40 °C	多管式熱交, A=30.4 m <sup>2</sup> , Q=37530 kcal/H	
再生冷却器 (3)	1	420 $\phi$ × 3500	1.5 "	350 °C	多管式熱交, A=138 m <sup>2</sup> , Q=80600 kcal/H	
再生冷却器 (4)	1	420 $\phi$ × 3500	1.5 "	350 °C	多管式熱交, A=138 m <sup>2</sup> , Q=80600 kcal/H	
Drain タンク	1	2000 $\phi$ × 3500	1.5 "	40 °C	整形円筒 11 m <sup>3</sup>	
冷凍機	2	6000 × 5000 × 2000	9.9 "	40 °C	水冷式 55 kW, 100,000 kcal/H	
制御盤	1	6000 × 2500 × 2200	—	—	自立盤	
弁類	1 式	—	1.5 "	40 °C	ペローショナル弁	
配管材	1 式	—	1.5 "	40 °C	SUS 304 シームレス	

Table 6.4 Utility (1)

種別	用 途	ユーティリティ	備 考
冷 却 水	HVAC用冷凍機冷却水	31500 ℓ/min	冷却水入口/出口温度 ..... 32°C/37°C
	トリチウム除去装置用冷却水		
	・ ETCS 1500 m <sup>3</sup> /h	500 ℓ/min	
	・ ETCS 4400 m <sup>3</sup> /h	1500 ℓ/min	
	ローカルクーラ用冷却水	920 ℓ/min	
	HVAC 暖房用蒸気	5140 kg/h	供給蒸気圧力 ..... 4.5 kg/cm <sup>2</sup> ・G
ド レ ン	グリーンゾーンHVAC	14 ℓ/min	
	アンバーゾーンHVAC	10 ℓ/min	
	レッドゾーンHVAC	33 ℓ/min	
	トリチウム除去装置		
	・ ETCS 1500 m <sup>3</sup> /h	0.01 ℓ/min	
・ ETCS 4400 m <sup>3</sup> /h	1.2 ℓ/min		
ガ ス	トリチウム除去装置用N <sub>2</sub> ガス		
	・ ETCS 1500 m <sup>3</sup> /h	3 m <sup>3</sup> /h	
	・ ETCS 4400 m <sup>3</sup> /h	5 m <sup>3</sup> /h	
	トリチウム除去装置用H <sub>2</sub> ガス		
	・ ETCS 1500 m <sup>3</sup> /h	0.75 m <sup>3</sup> /h	
・ ETCS 4400 m <sup>3</sup> /h	2.2 m <sup>3</sup> /h		



Table 6.5 Utility (2)

	機 器 名 称	台 数 (予備台数)	1 台 当 り	
			出 力 (kW)	電 圧 (V)
H V A C	グリーン送風機	3 (1)	340	6600
	グリーン排風機	2 (1)	75	440
	アンバー送風機	2 (1)	110	440
	アンバー排風機	2 (1)	160	440
	レッド送風機	3 (1)	180	440
	レッド排風機	3 (1)	280	440
	グリーン送・排風機室用 L/C	2 (1)	15	440
	アンバー・レッド排風機室用 L/C	2 (1)	15	440
	グリーン炉下部室用 L/C	4 (1)	15	440
	レッド炉下部室用 L/C	4 (1)	15	440
	ターボ冷凍機主電動機	8 (2)	308	440
	冷水ポンプ	4 (1)	150	440
E T C S	◦ ETCS 1500 m <sup>3</sup> /h			
	循環ブロー	2 (1)	18.5	440
	再生ブロー	2 (1)	2.2	440
	冷凍機	2 (1)	17	440
	触媒筒用ヒーター	1	ヒータ容量 53	440
	吸着筒用ヒーター	2 (1)	" 50	440
	◦ ETCS 4400 m <sup>3</sup> /h			
	循環ブロー	2 (1)	5.5	440
	再生ブロー	2 (1)	5.5	440
	冷凍機	2 (1)	5.5	440
触媒筒用ヒーター	1	ヒータ容量 150	440	
吸着筒用ヒーター	2 (1)	" 160	440	

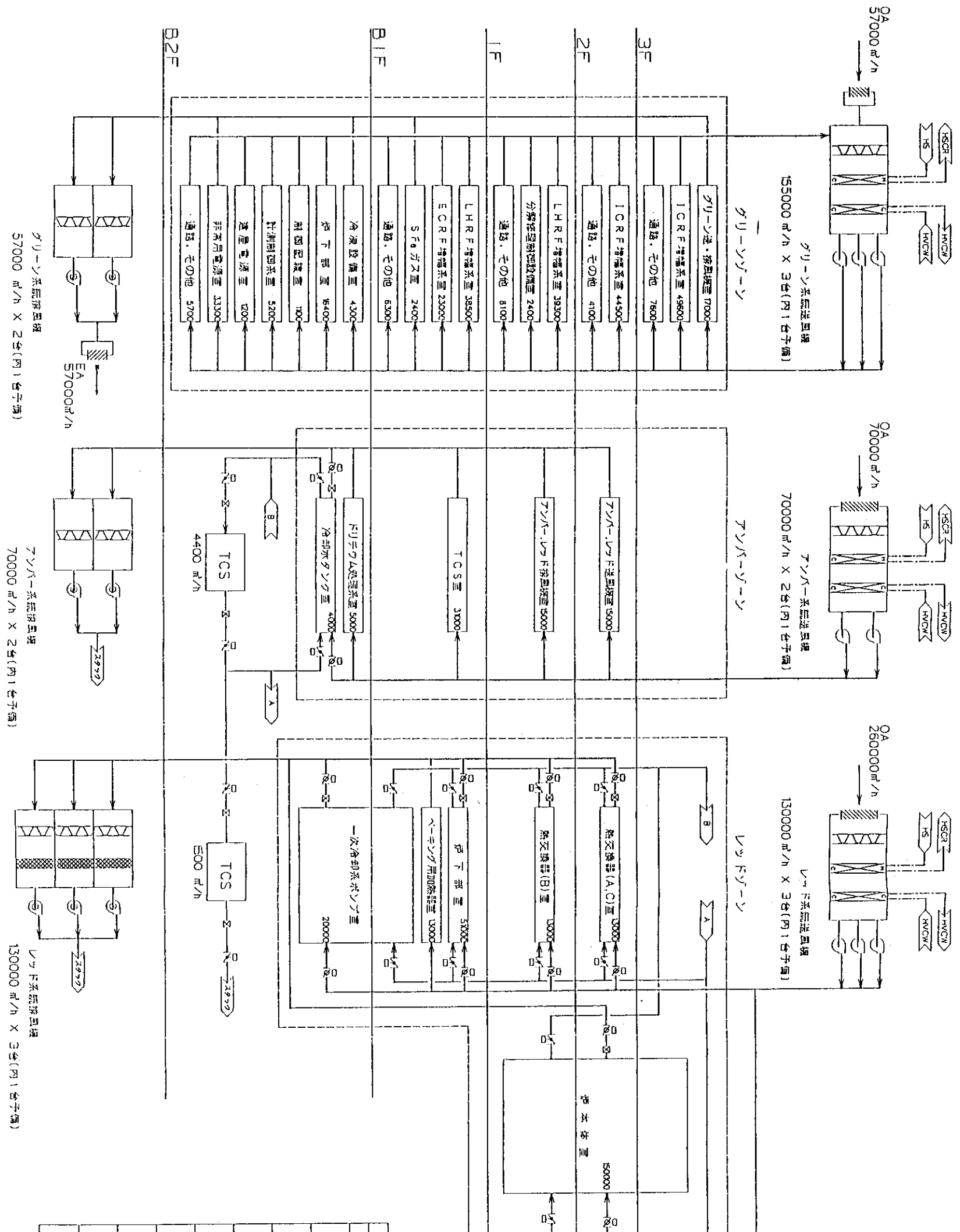
Table 6.6 Requirements of Outer Air Flow Rate, TCS Flow Rate

ゾーン	設備名	許容濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )	必要外気量 (m <sup>3</sup> /h)		TCS処理風量 (m <sup>3</sup> /h)	備考
			通常運転時	分解修理時		
A	トリチウム処理系	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	1300		—	
	一次冷却水タンク	0.2 × 10 <sup>-6</sup>	—		700	事故時3日以内に許容濃度*
R	熱交換器 (A, C)	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	12500	12500	1400	事故時3日以内に許容濃度*
	熱交換器 (B)	—	12500	12500	1100	事故時3日以内に許容濃度*
	一次冷却水ポンプ	—	12500		3300	事故時3日以内に許容濃度*
	ベーキング用加熱器	—	—	12500	—	
	炉下部 (B1F)	—	12500	12500	1000	事故時3週間以内に許容濃度*
	炉本体	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	12500	12500	4000	事故時5週間以内に許容濃度*

\* 想定

Table 6.7 Tritium Release on Accidents

ゾーン	設備名	漏洩トリチウム量 (Ci)	トリチウム放出量 (Ci)		
			$DF_1 = DF_2 = 10^4$	$DF_1 = DF_2 = 10^2$	$DF_1 = DF_2 = 10$
A	一次冷却水タンク	$4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{-4}$	1.4	$1.5 \times 10^2$
R	熱交換器 (A, C)	$4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{-4}$	1.4	$1.5 \times 10^2$
	熱交換器 (B)	$4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{-4}$	1.4	$1.5 \times 10^2$
	一次冷却水ポンプ	$4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{-4}$	1.4	$1.5 \times 10^2$
	炉下部 (B1F)	$4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{-4}$	1.4	$1.5 \times 10^2$
	炉本体	$22 \times 10^4$	$7.5 \times 10^{-4}$	7.6	$8.1 \times 10^2$

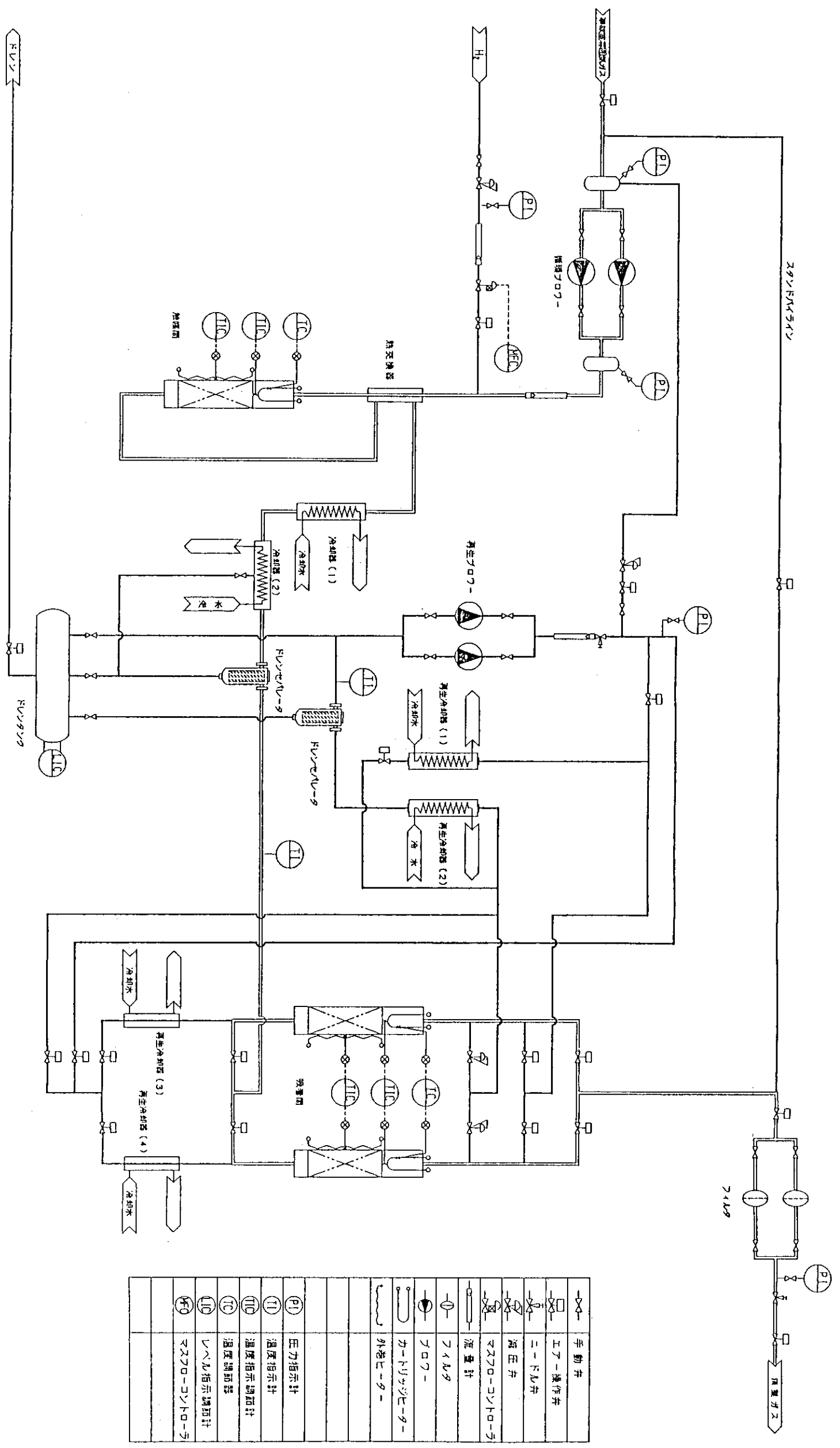


記号	名称
	ファン送風機
	ラフ送風機
	グリッド送風機
	ICRF増強系
	LHRF増強系
	TCS
	冷却コイル
	加熱コイル
	ファン
	ラフファン
	グリッドファン

Fig. 6.1 Block Diagram of HVAC

図面番号: DRAWING NO.

REV NO.



手動弁	PI	圧力指示計
エア-操作弁	TI	温度指示計
ニードル弁	TIC	温度指示調節計
流量計	TI	温度調節器
マスフローコントローラ	TI	レベル指示調節計
流量計	PI	マスフローコントローラ
フロロ-		
カートリッジヒータ-		
外巻ヒータ-		

図面番号: DRAWING NO.

REV NO.

名称: TITLE トリチウム除去装置

図面名称: DRAWING TITLE TCS 燃焼フロー

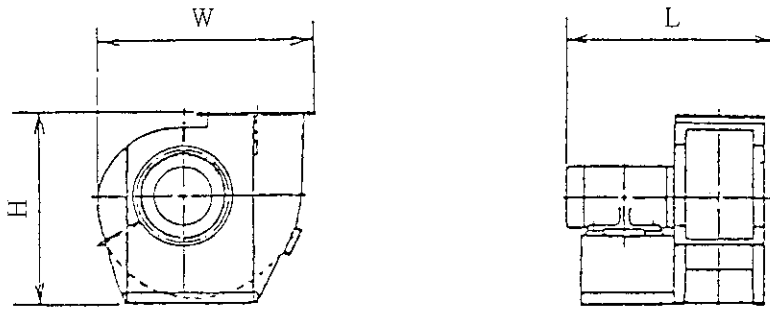
図面番号: DRAWING NO.

図面番号: DRAWING NO.

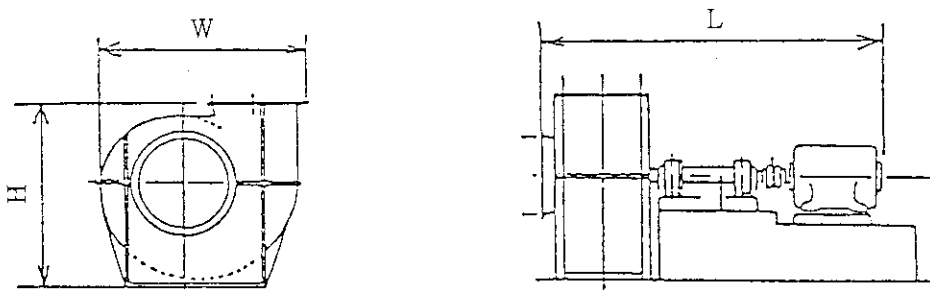
REV NO.

Fig. 6.2 FLOW Diagram of TCS

○タイプ - A ..... 直動型

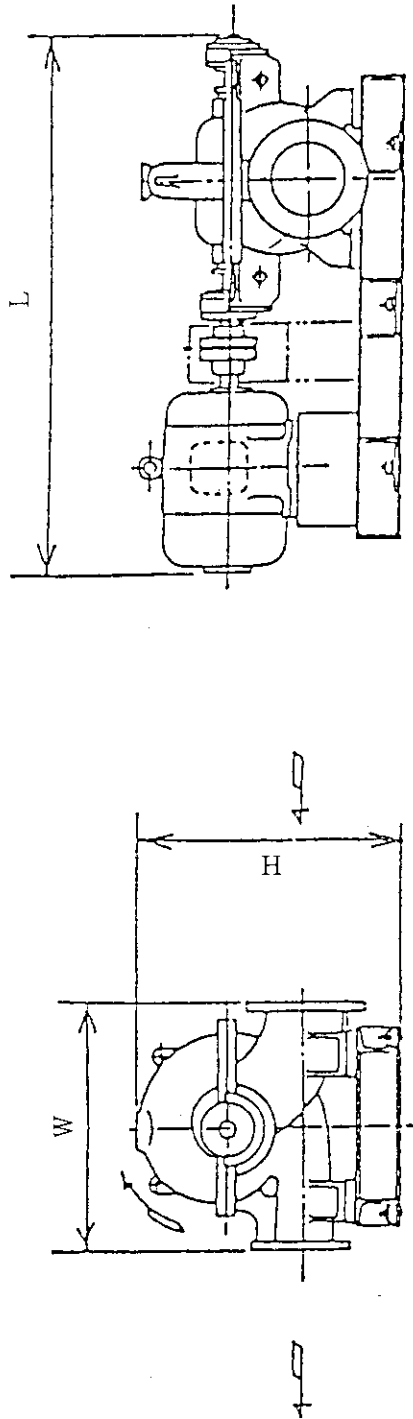


○タイプ - B ..... 直結型



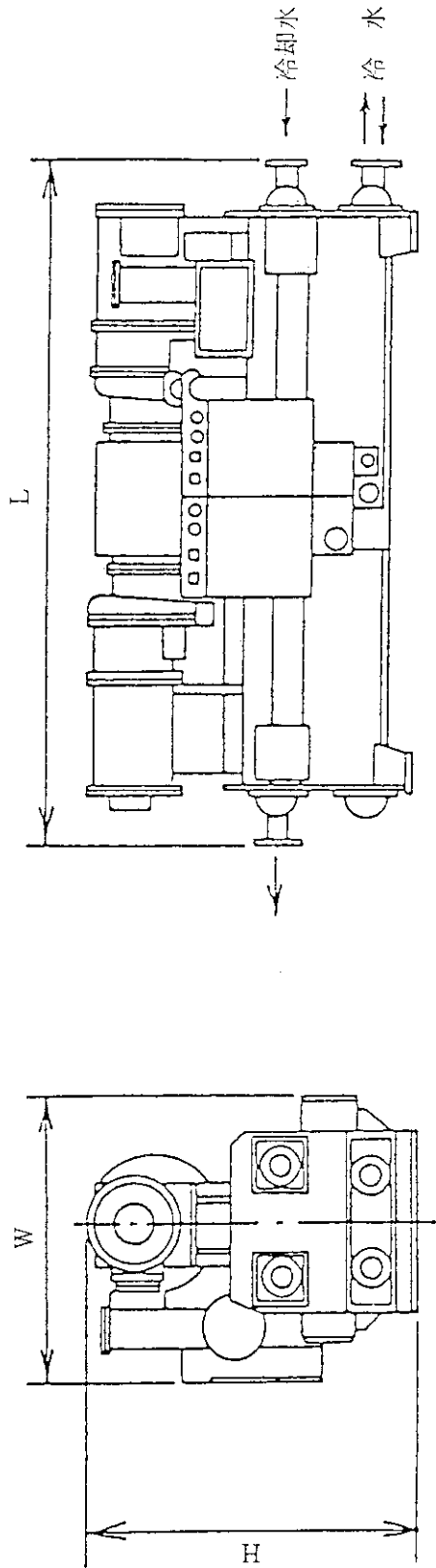
機器名称	タイプ	L (m)	W (m)	H (m)	備考
グリーン送風機	B	5.0	3.7	3.5	155000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 450 mmAq $\times$ 340 kW
グリーン排風機	B	4.0	3.0	2.6	57000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 250 mmAq $\times$ 75 kW
アンバー送風機	A	2.0	3.0	2.8	70000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 300 mmAq $\times$ 110 kW
アンバー排風機	B	4.2	3.3	3.0	70000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 410 mmAq $\times$ 160 kW
レッド送風機	A	3.0	3.4	3.0	130000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 300 mmAq $\times$ 200 kW
レッド排風機	B	5.0	3.6	3.3	130000 $\frac{m^3}{h}$ $\times$ 410 mmAq $\times$ 280 kW

Fig. 6.3 External Appearance of HVAC Fan



	L (m)	W (m)	H (m)	備考
冷水ポンプ	2.4	1.1	1.2	8000 $\ell$ /min $\times$ 50 $\text{m}^3/\text{d}$ $\times$ 150 kW

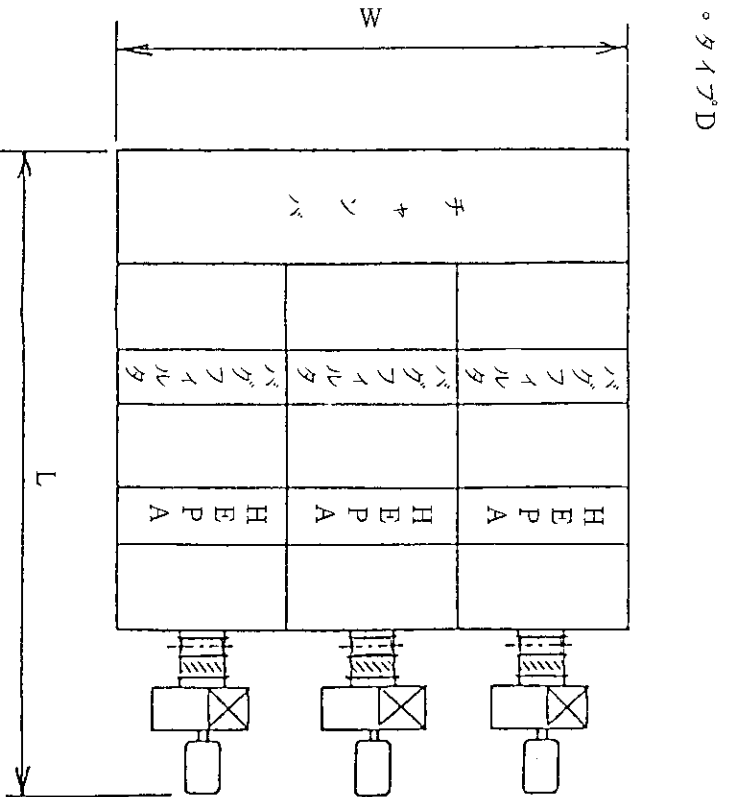
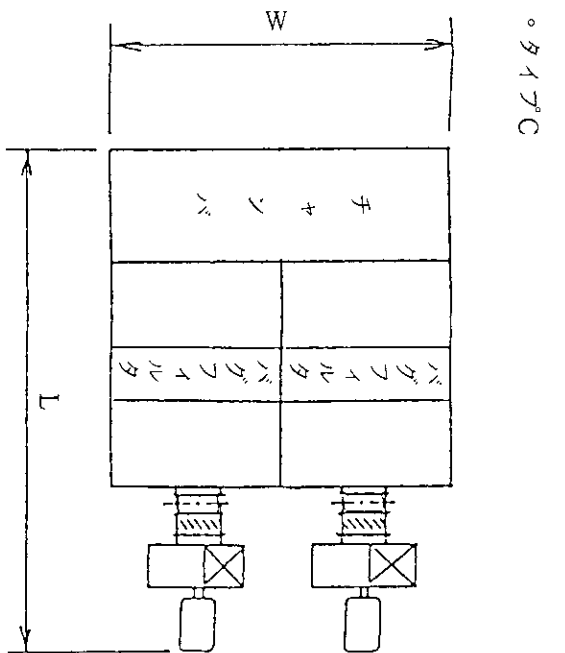
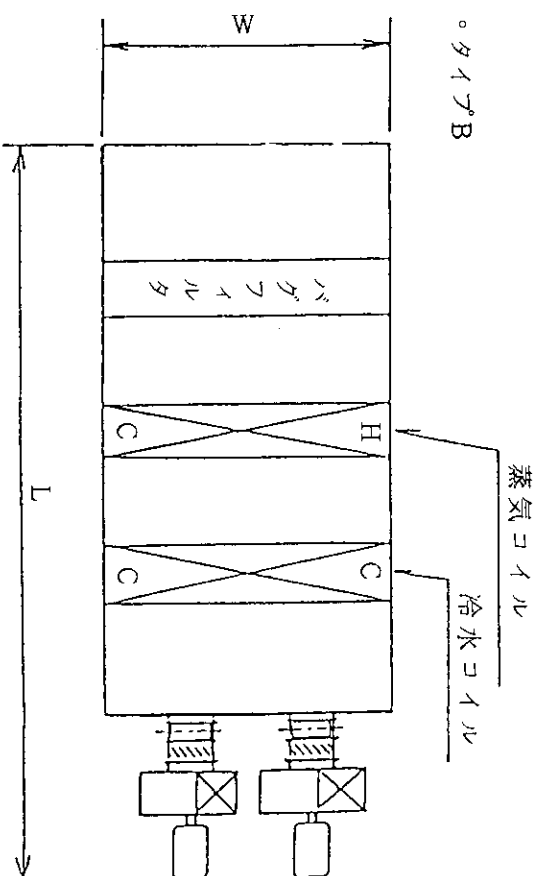
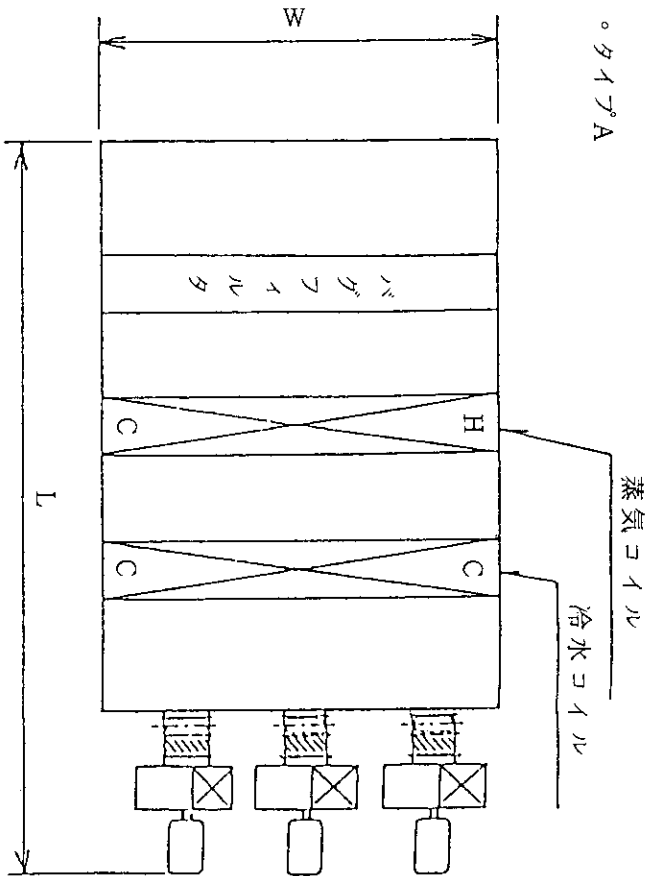
Fig. 6.4 External Appearance of Pump for Cooling Water



	L (m)	W (m)	H (m)	備考
ターボ冷凍機	6.5	2.5	3.0	800 USRT × 612 kW

Fig. 6.5 External Appearance of Refrigerator





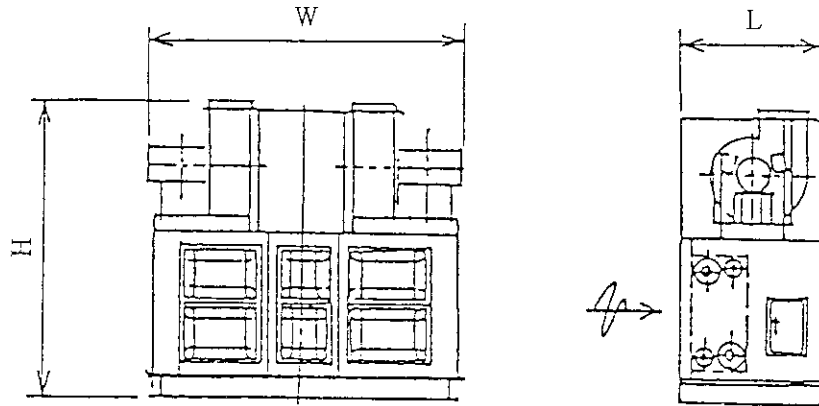
	タイプ	L (m)	W (m)	H* (m)
グリーン給気用	A	19.5	26.0	7.5
グリーン排気用	C	14.0	16.0	4.0
ファン給気用	B	16.0	16.0	7.5
ファン排気用	C	13.0	15.0	6.0
レフト給気用	A	16.0	26.0	7.5
レフト排気用	D	17.0	24.0	6.0

\*: ケーシングの高さ

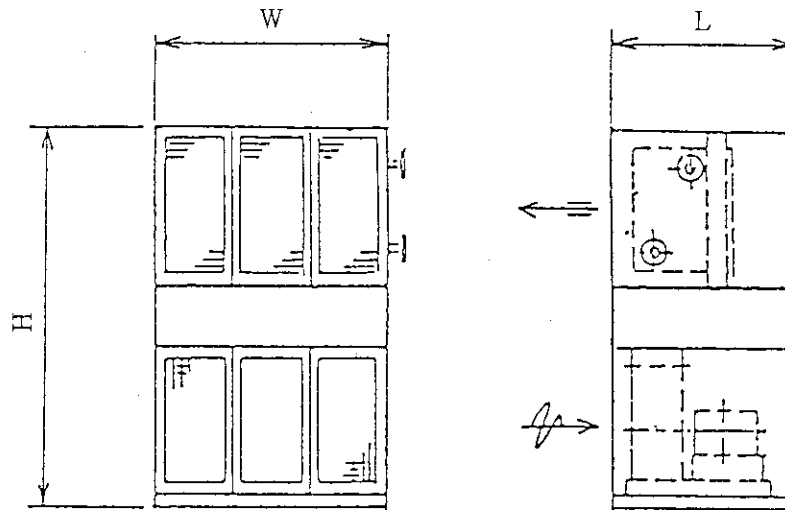
(注) 空調機寸法は輻体レイアウトを考慮して設定した。

Fig. 6.6 Concept of Air Conditioner

・タイプE



・タイプC



設置室	タイプ	L (m)	W (m)	H (m)	備考
グリーン送・排風機室	E	1.2	2.5	2.5	冷水入口/出口 … 7/12 °CDB
アンバー・レッド排風機室	E	1.2	2.7	2.5	” ”
グリーン炉下部室	C	1.4	2.5	3.5	冷水入口/出口 … 32/37 °CDB
レッド炉下部室	C	1.4	2.5	3.5	” ”

Fig. 6.7 Concept of Local Cooler

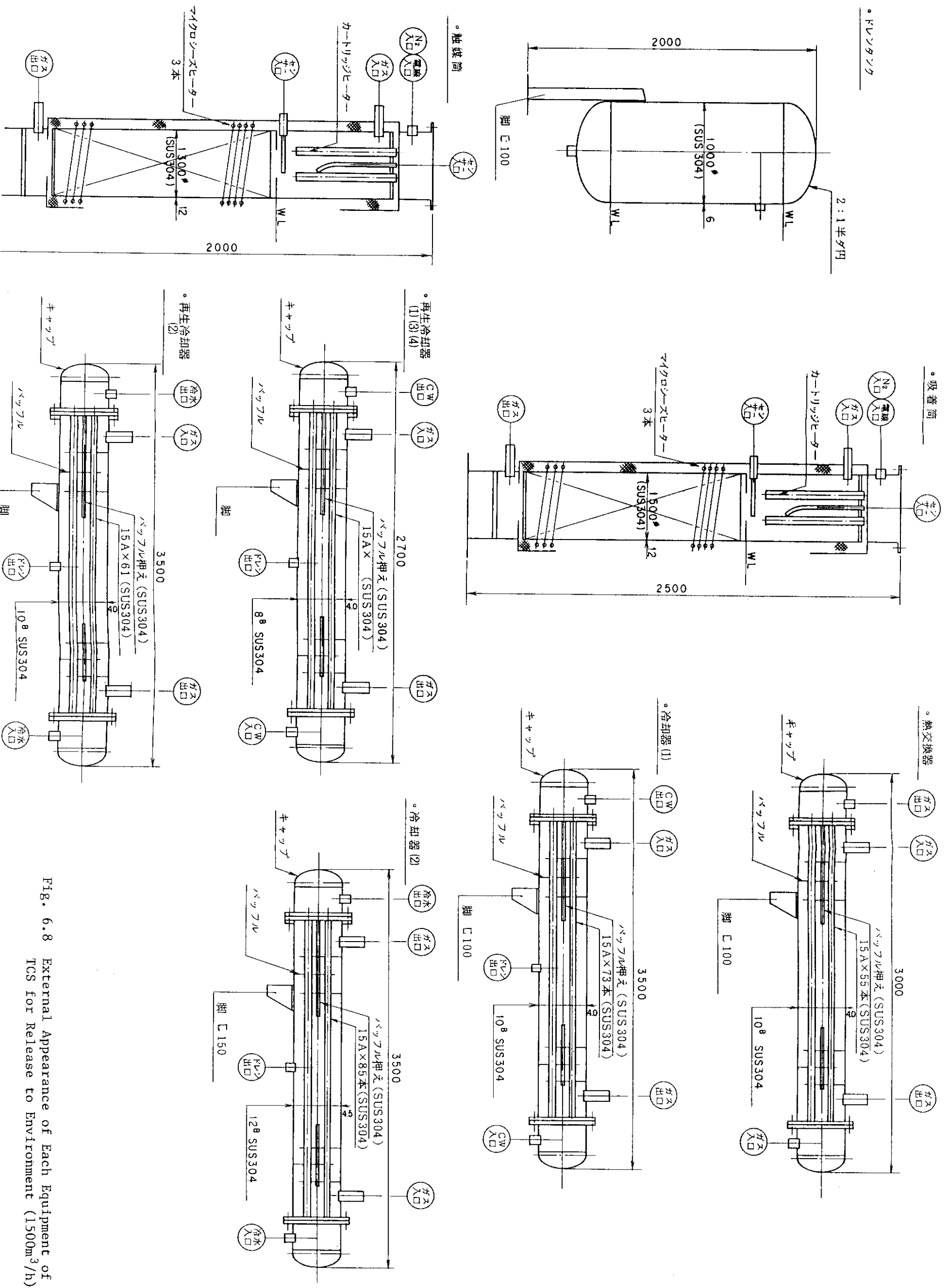


Fig. 6.8 External Appearance of Each Equipment of TCS for Release to Environment (1500m<sup>3</sup>/h)

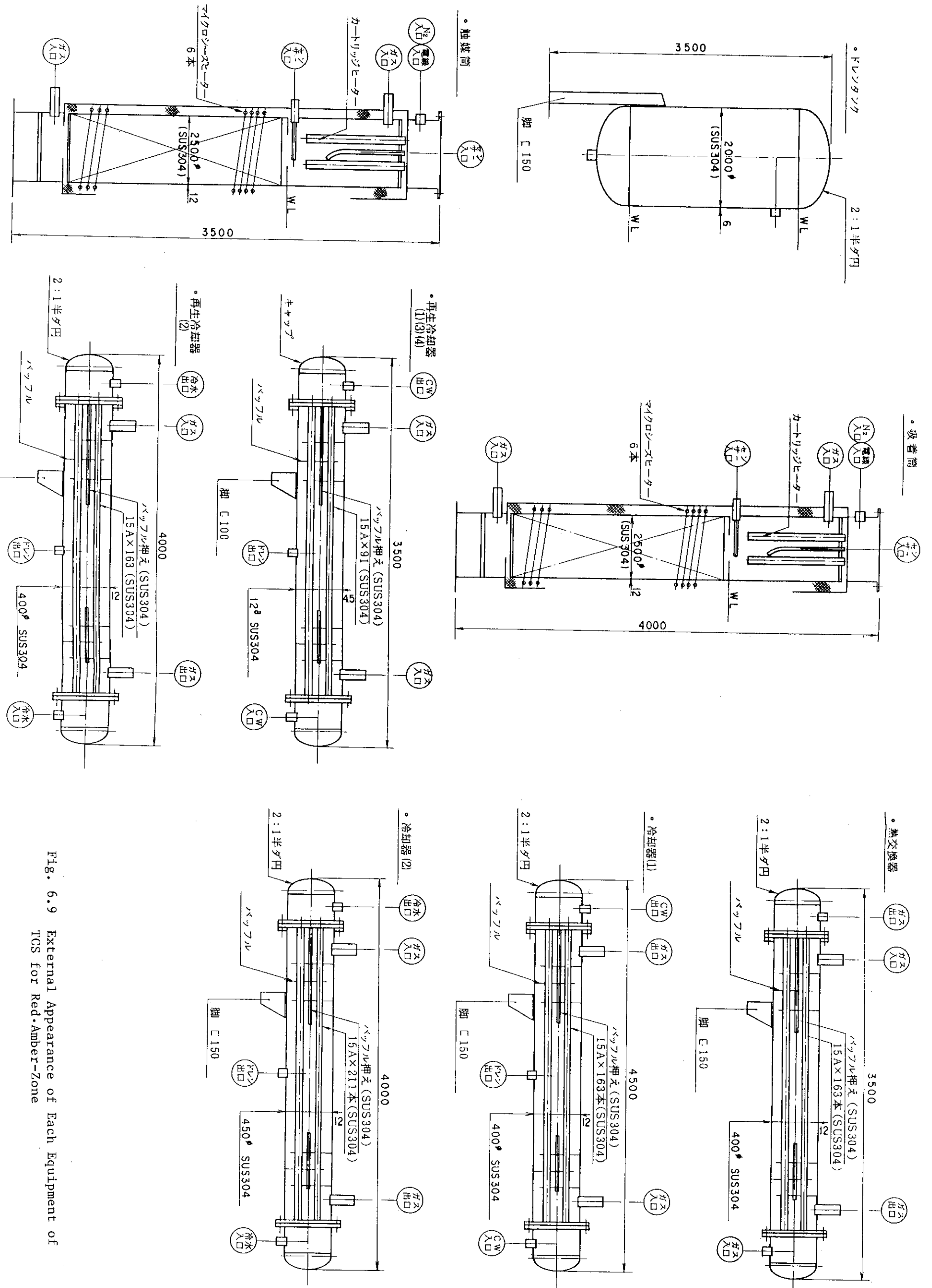


Fig. 6.9 External Appearance of Each Equipment of TCS for Red-Amber-Zone

炉室

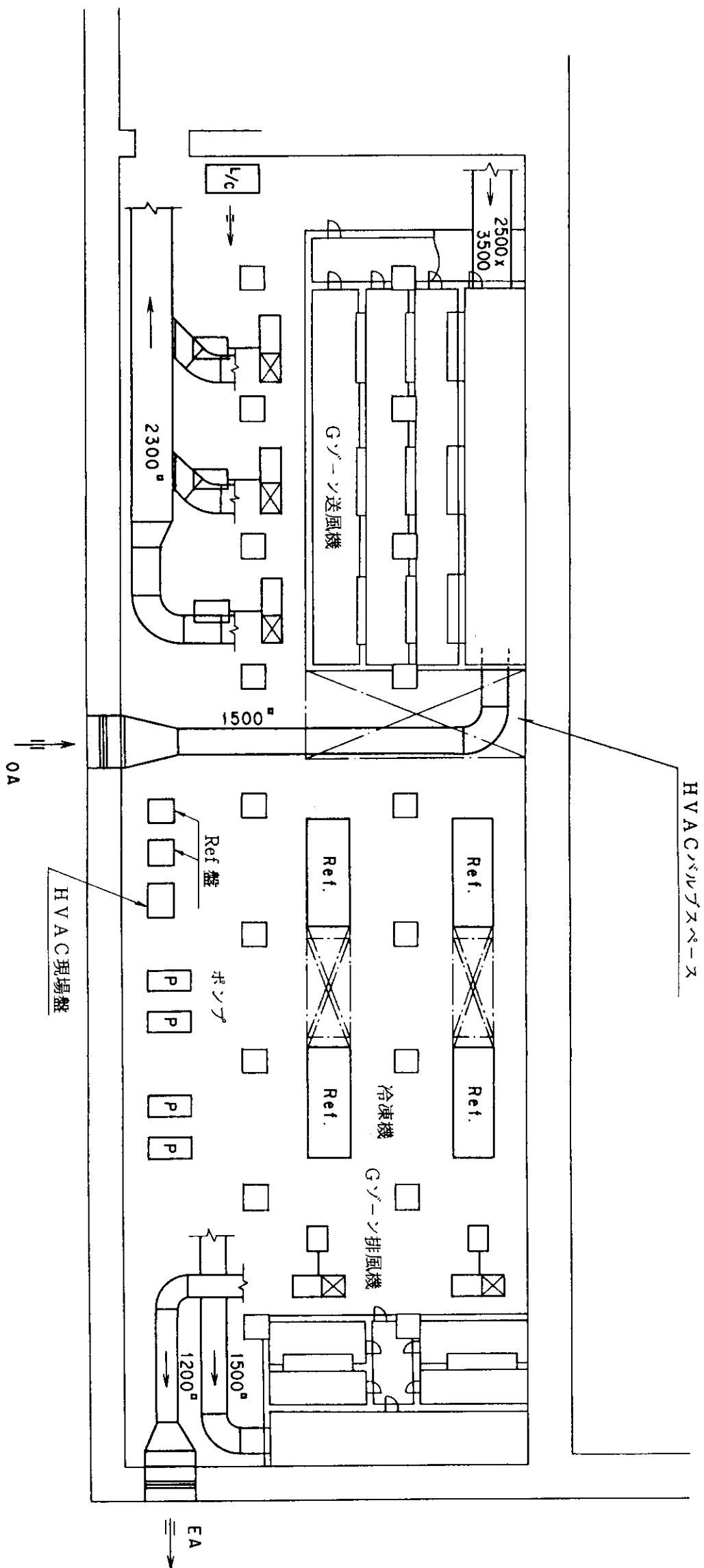


Fig. 6.10 Layout of HVAC for Gree-Zone

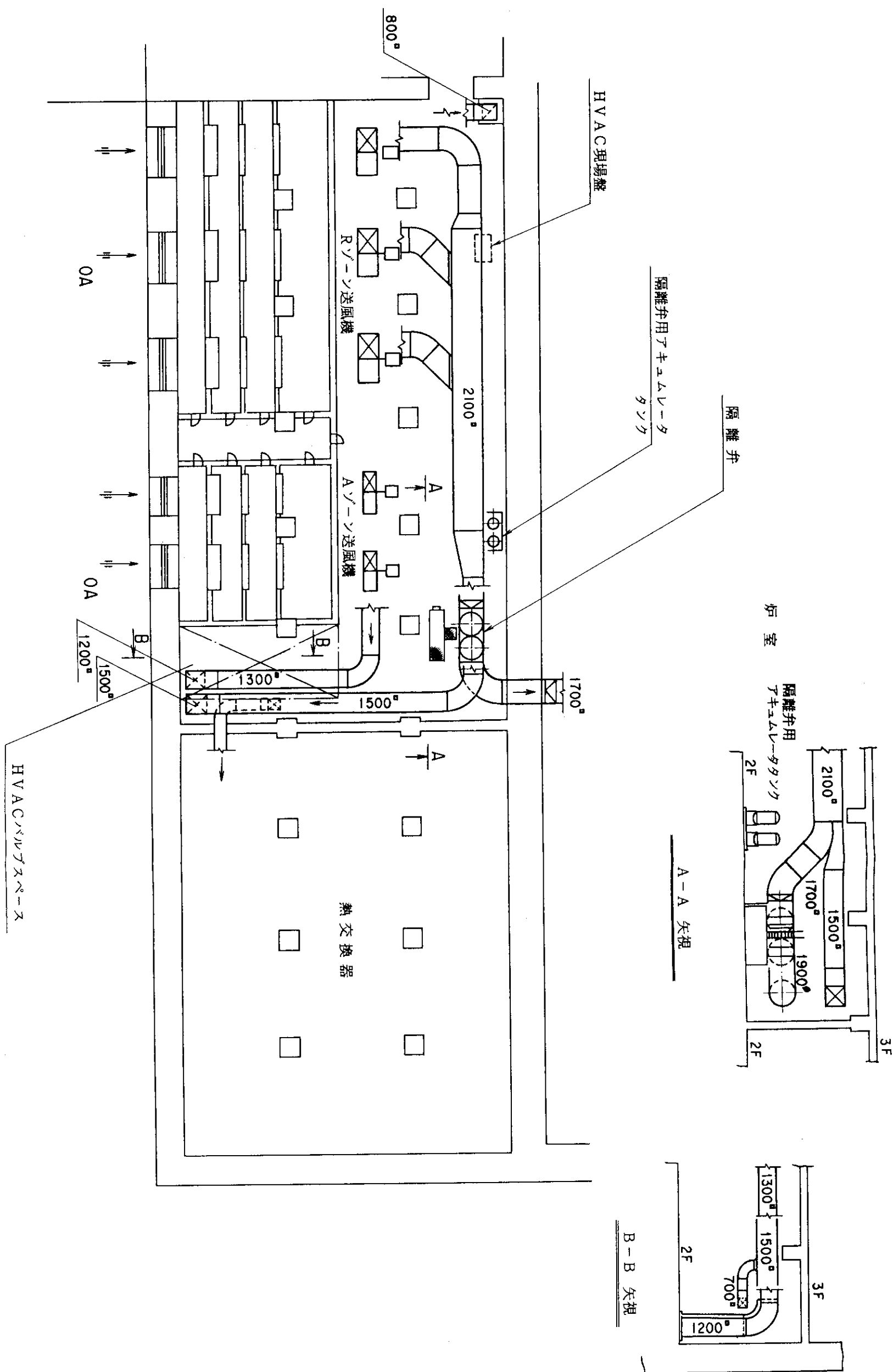
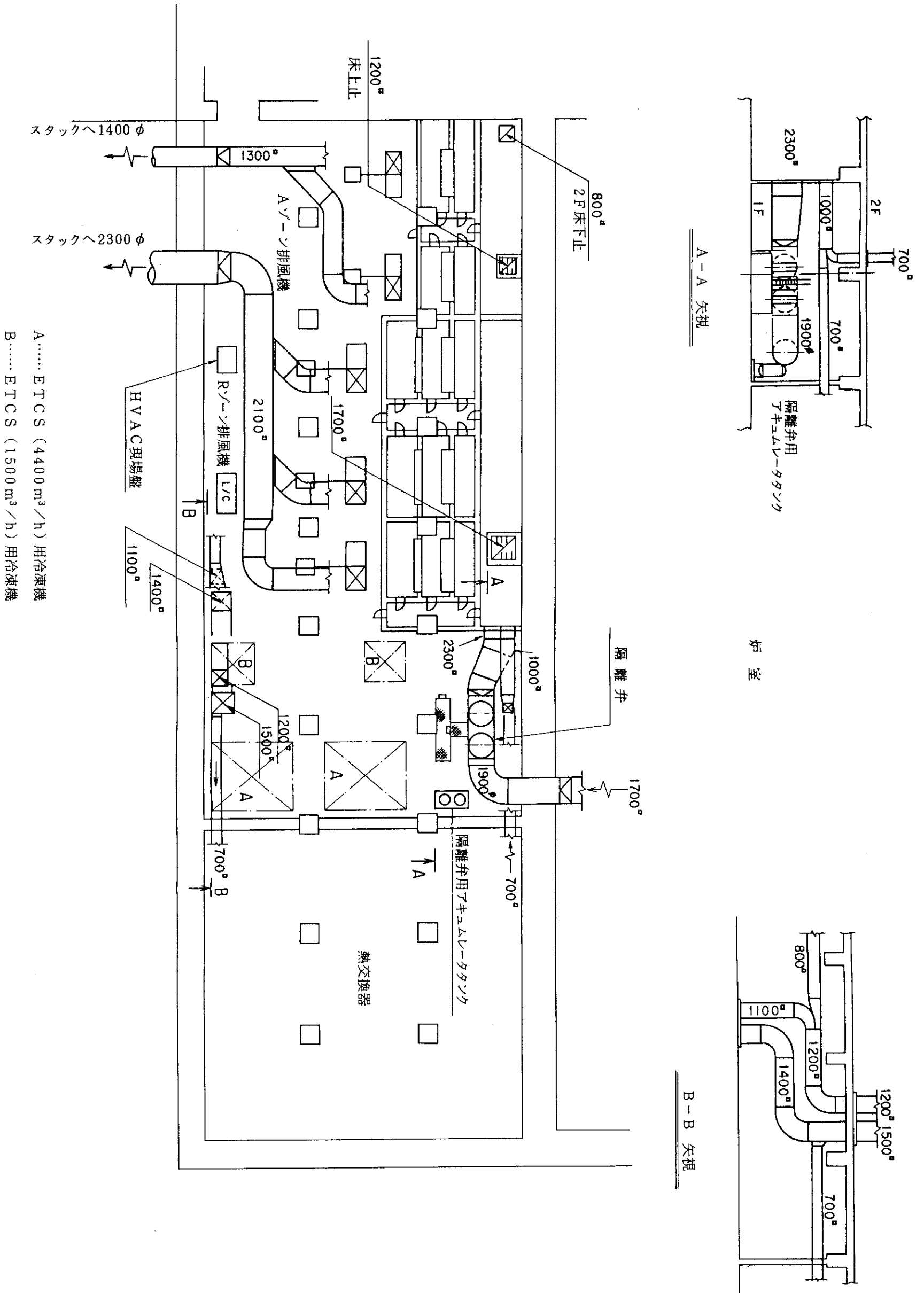


Fig. 6.11 Layout of HVAC for Red-Amber-Zone Fan



A..... E T C S (4400 m<sup>3</sup>/h) 用冷凍機  
 B..... E T C S (1500 m<sup>3</sup>/h) 用冷凍機

Fig. 6.12 Layout of HVAC for Red-Amber-Zone Exhauster

炉室

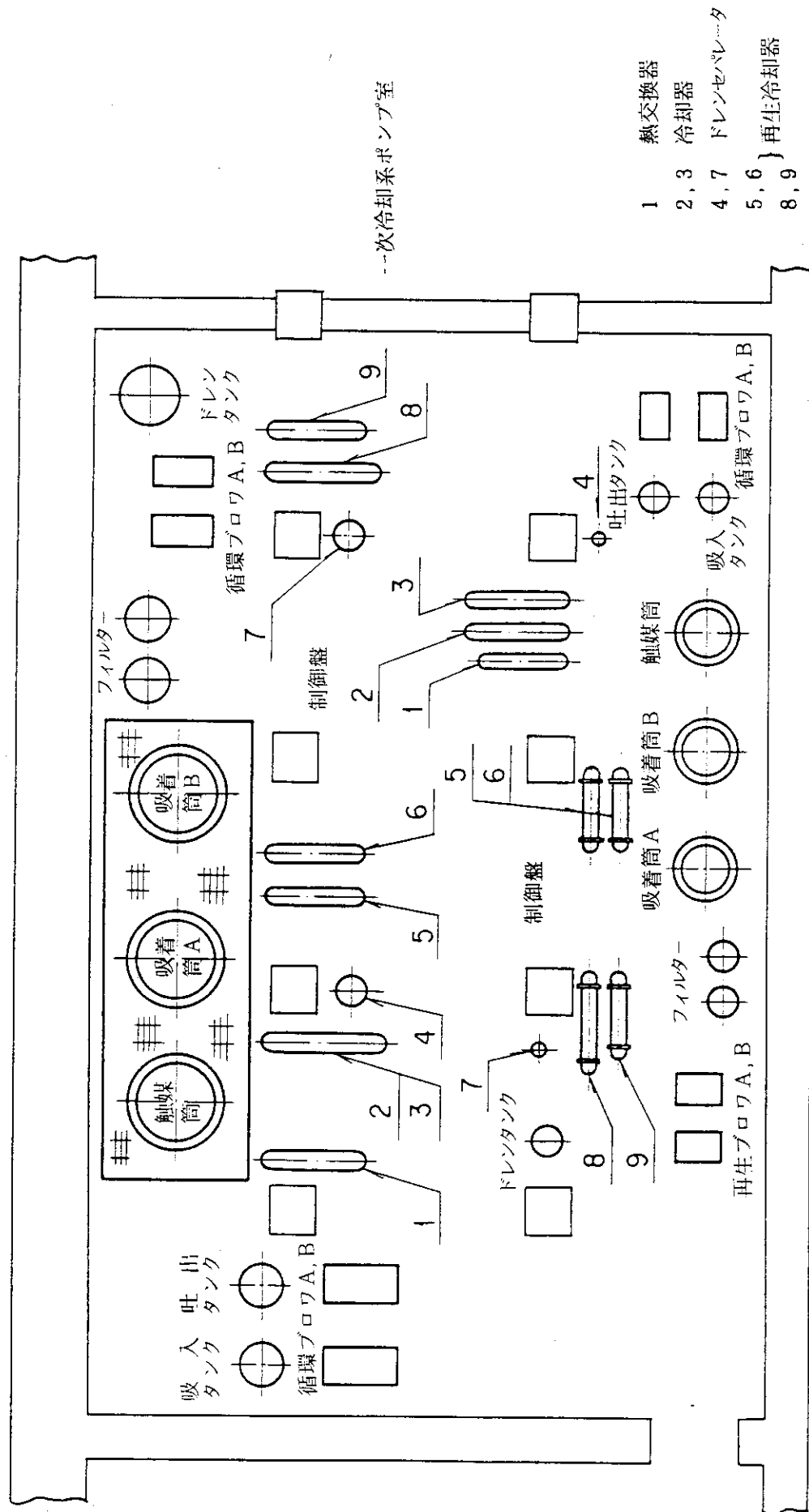


Fig. 6.13 Layout of TCS



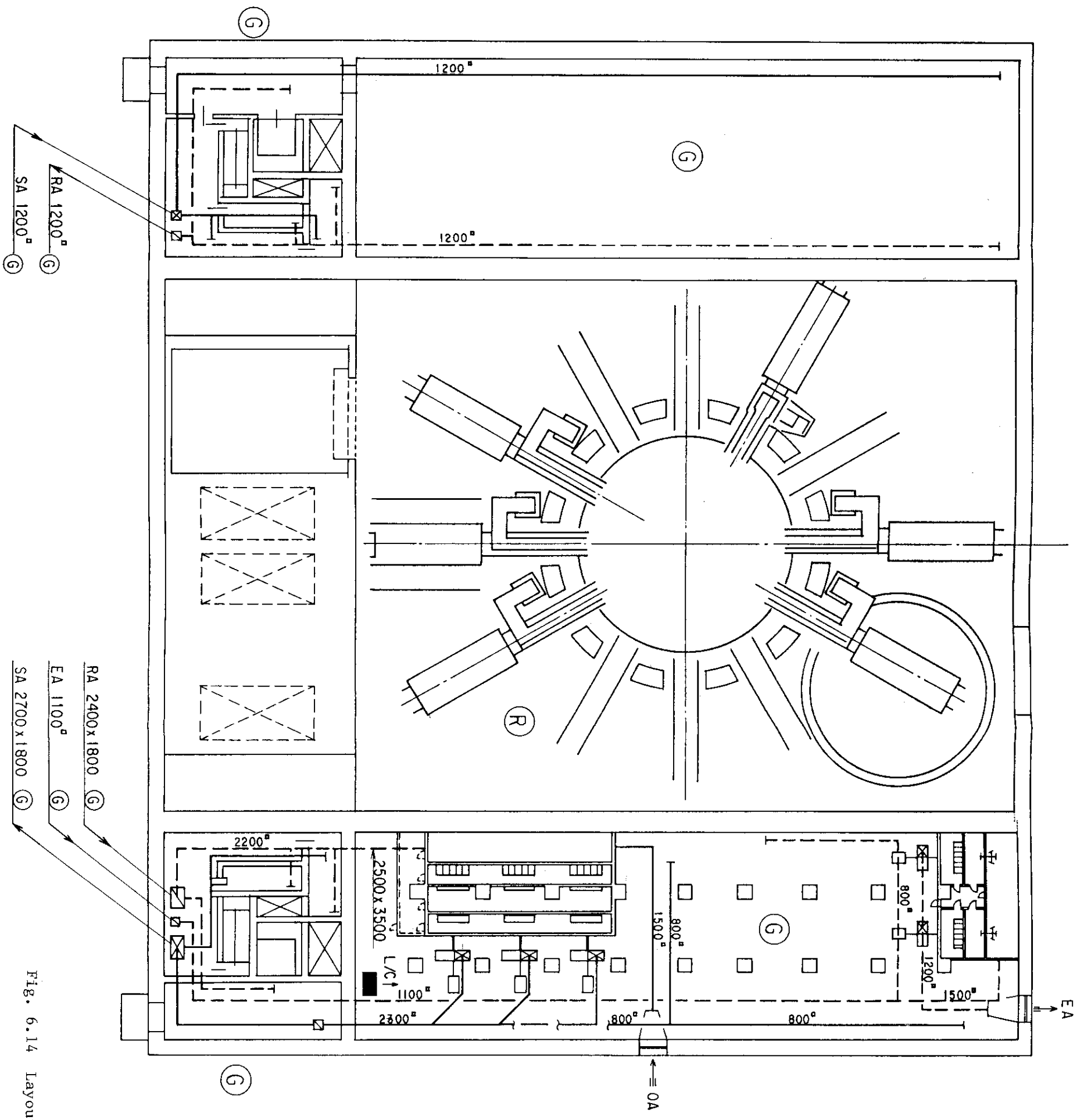


Fig. 6.14 Layout of the Third Floor

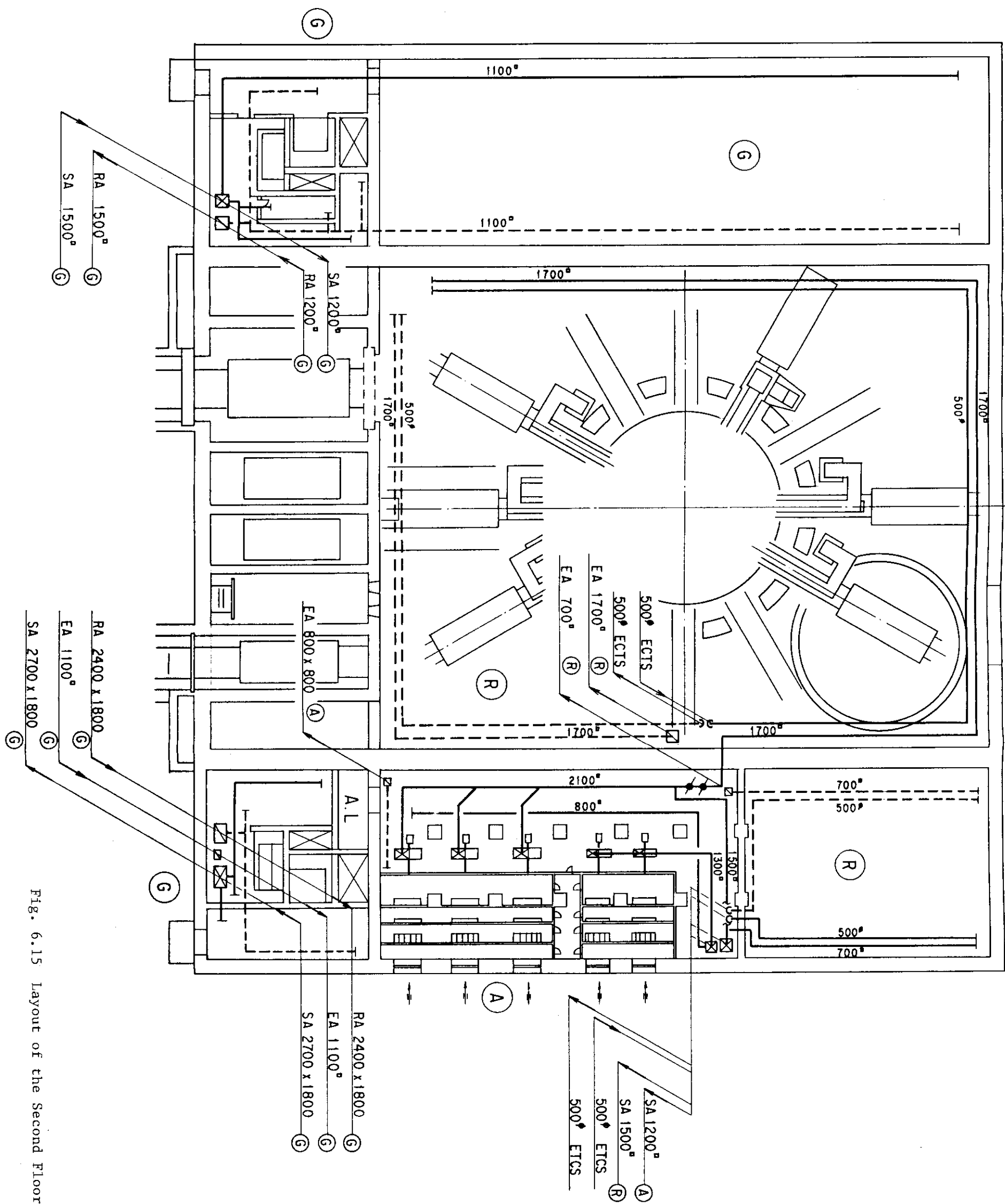


Fig. 6.15 Layout of the Second Floor



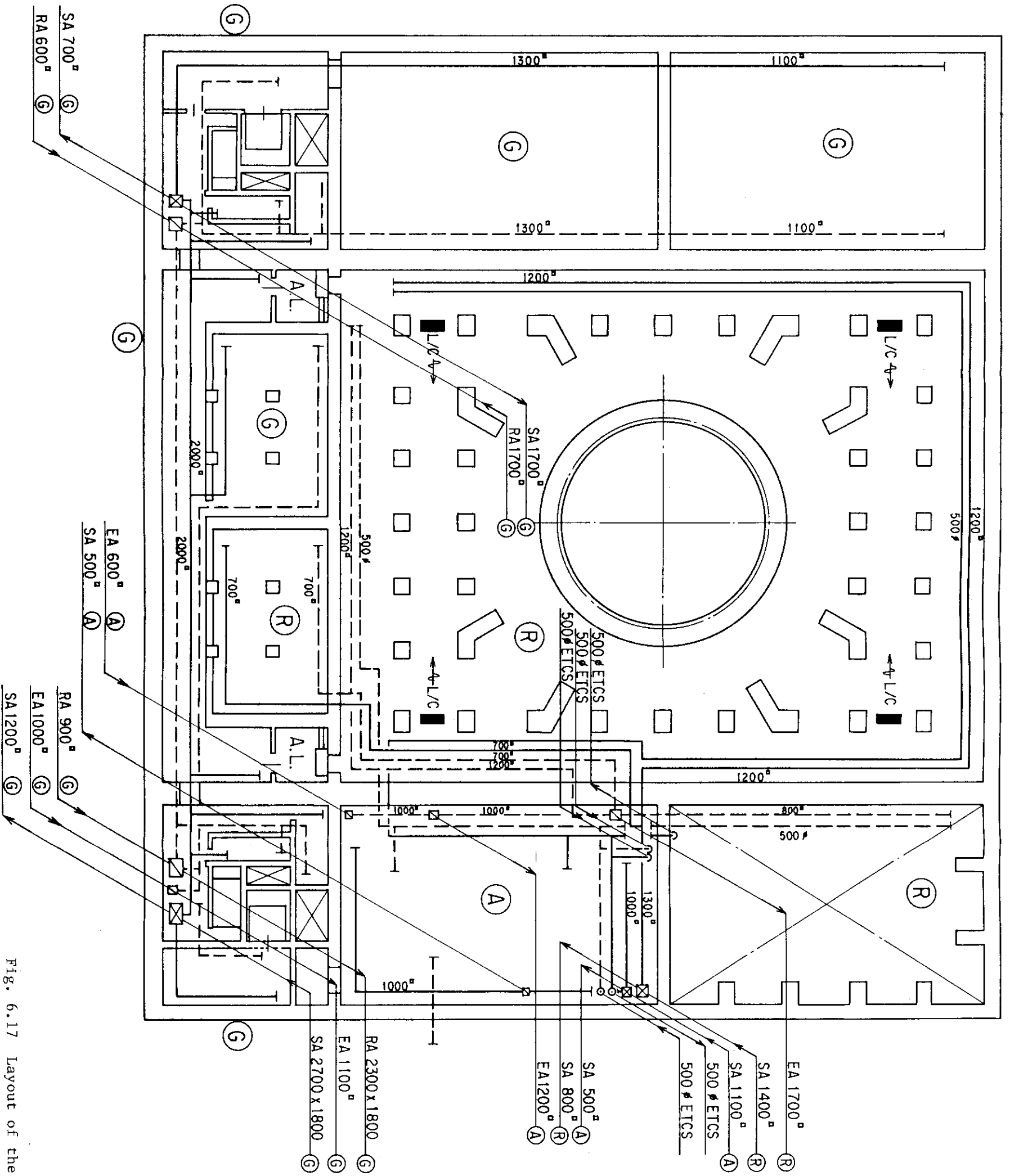


Fig. 6.17 Layout of the First Basement

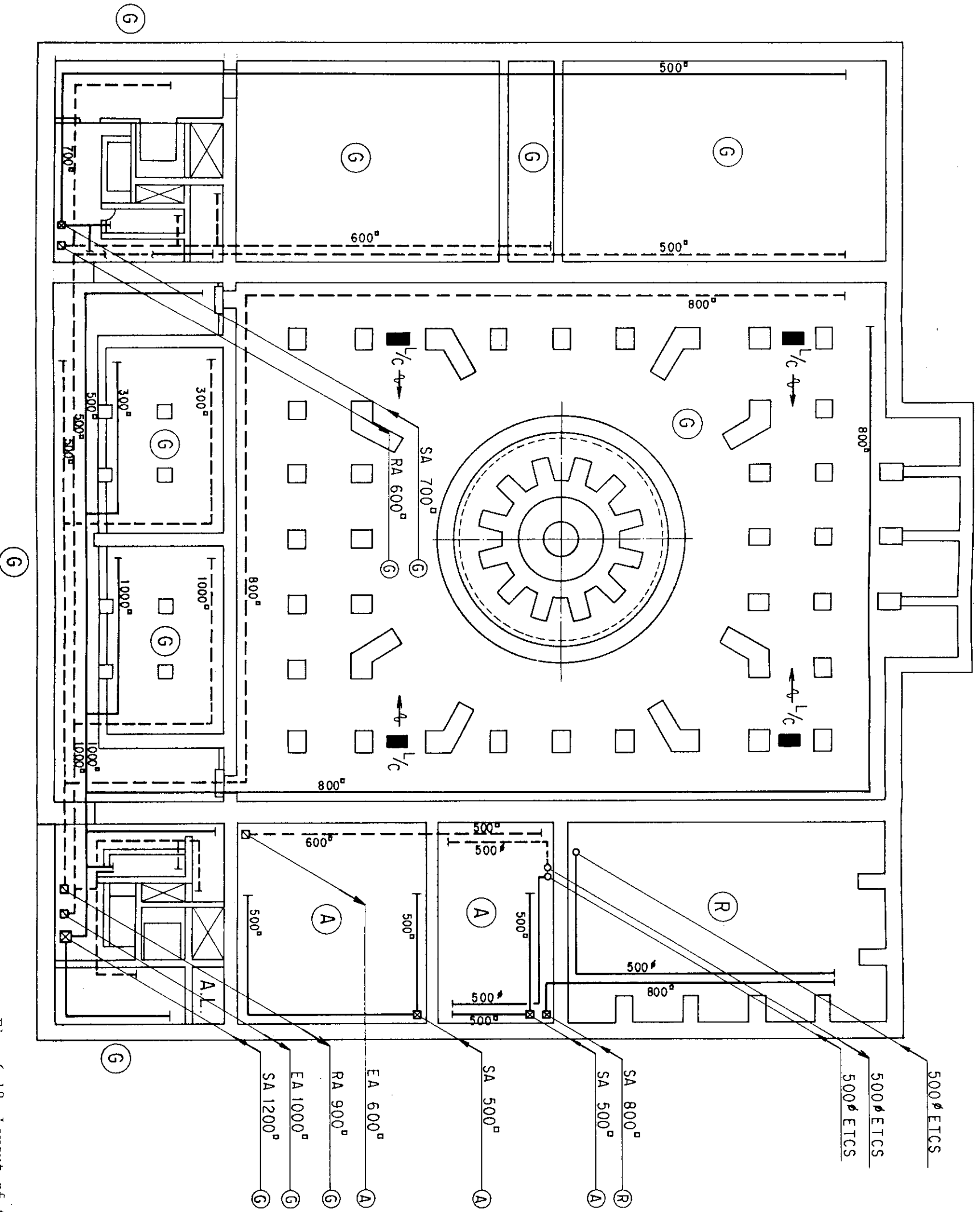


Fig. 6.18 Layout of the Second Basement

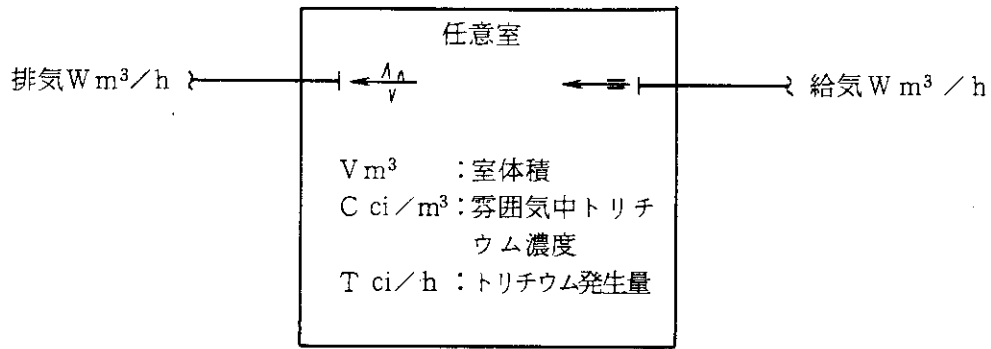


Fig. 6.19 Model of General Ventilation

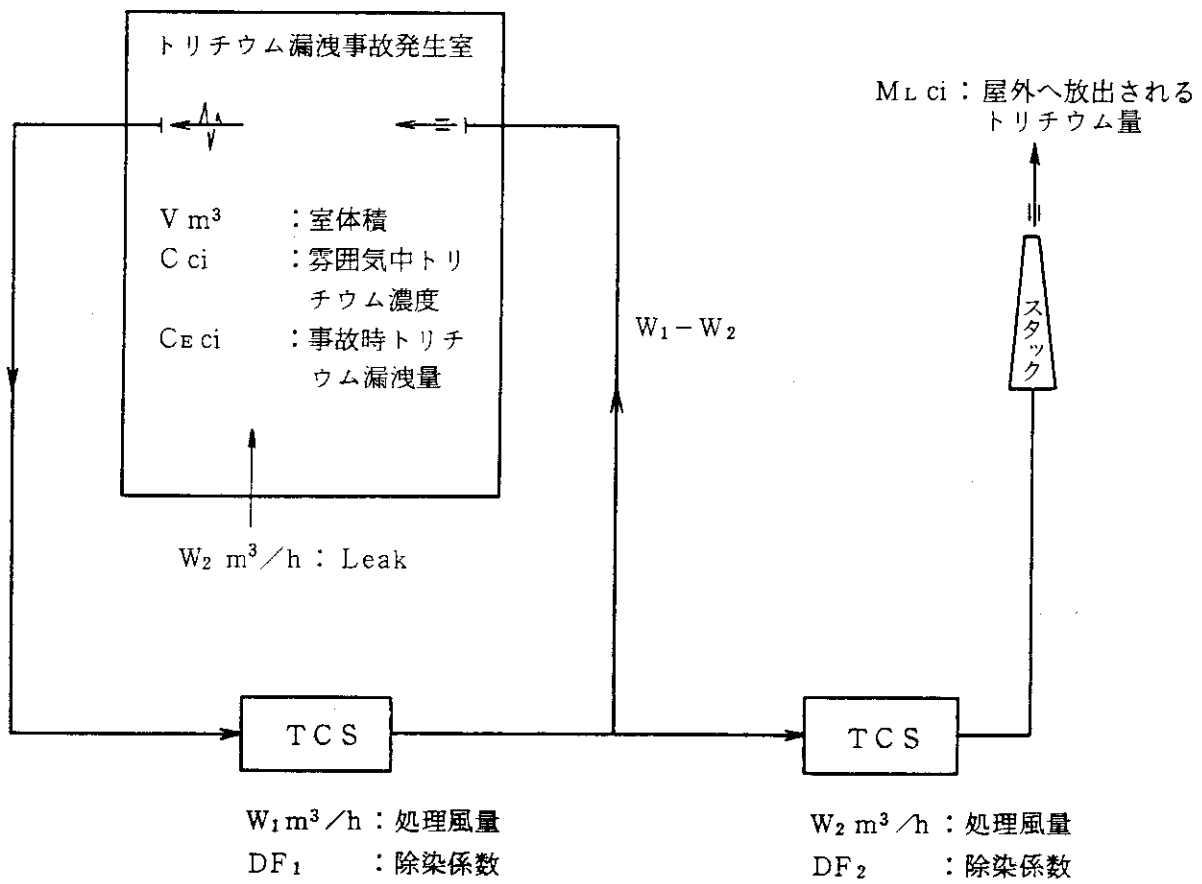


Fig. 6.20 Model of Ventilation in Accident

Table 6.8 Induced radioactivity of reactor room air

NUCLIDE	REACTION	M P C (Ci / m <sup>3</sup> )	HALF LIFE	PRODUCTS (n/m <sup>3</sup> /sec)	Concentration in the reactor room at shutdown (Ci / m <sup>3</sup> )	AMOUNT OF RELEASE PER DAY (Ci/day)
<sup>41</sup> Ar	<sup>40</sup> Ar (n, γ) <sup>41</sup> Ar	4 × 10 <sup>-7</sup>	1.83 hr	1.1 × 10 <sup>5</sup>	1.12 × 10 <sup>-6</sup>	0.24
<sup>16</sup> N	<sup>16</sup> O (n, γ) <sup>16</sup> N	—	7.13 sec	5.7 × 10 <sup>2</sup>	1.53 × 10 <sup>-8</sup>	3.2 × 10 <sup>-3</sup>
<sup>13</sup> N	<sup>14</sup> N (n, 2n) <sup>13</sup> N	—	9.96 min	2.5 × 10 <sup>2</sup>	5.80 × 10 <sup>-9</sup>	1.2 × 10 <sup>-3</sup>
<sup>14</sup> C	<sup>14</sup> N (n, p) <sup>14</sup> C	1 × 10 <sup>-6</sup>	5730 yr	3.2 × 10 <sup>7</sup>	2.0 × 10 <sup>-11</sup>	4.2 × 10 <sup>-6</sup>
T	<sup>14</sup> N (n, T) <sup>13</sup> C	2 × 10 <sup>-6</sup>	12.6 yr	1.8 × 10 <sup>3</sup>	5.11 × 10 <sup>-13</sup>	1.1 × 10 <sup>-7</sup>

Ventilating ratio : 0.6/hr      Volume of reactor room : 2.1 × 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>

Table 6.9 Radwaste System Input

系 統	系統内総水量 ( $m^3$ )	系 統 流 量 ( $m^3/hr$ )	トリチウム濃度 ( $Ci/m^3$ )	通常運転時		分解修理時		事故時		備 考
				廃液発生量 ( $m^3/day$ ) ( $Ci/day$ )	トリチウム濃度 ( $Ci/m^3$ )	廃液発生量 ( $m^3/day$ ) ( $Ci/day$ )	トリチウム濃度 ( $Ci/m^3$ )	廃液発生量 ( $m^3$ ) ( $Ci$ )	トリチウム濃度 ( $Ci/m^3$ )	
1次冷却系 (ダイバータ)	280	2681 (冷却水)	116	0.24	—	0.24	—	7.45	—	10%は酸化してトリチウム浄化系にて処理されることもある。
				30	—	30	—	864	—	
				0.48	—	0.48	—	14.3	—	
1次冷却系 (第一壁)	600	5125 (冷却水)	~0	0.48	—	0.48	—	14.3	—	同 上
1次冷却系 (遮蔽)	1800	15845 (冷却水)	~0	1.68	—	1.68	—	44	—	同 上
換気空調系 及びトリチウム 浄化系	室内総湿分* 凝縮水量 $16 m^3$	4400 (空気)	—	83*	—	発生トリチウム $100 Ci$ トリチウム濃度 $12.4 Ci/m^3$	—	発生トリチウム $2.2 \times 10^5 Ci$ トリチウム濃度 $2.7 \times 10^4 Ci/m^3$	—	
洗濯廃液	—	—	~0	10	—	10	—	10	—	推 定
シャワードレン	—	—	~0	20	—	20	—	20	—	推 定
そ の 他	未 定	未 定	未 定	未 定	—	未 定	—	未 定	—	
備 考	* 室内にインリークする分を余裕として見込んでいる。			* 流入空気の湿分を脱湿した凝縮水。						



## 7. 冷却・ベーキングシステムの設計検討

### 7.1 概要

FER においては、プラズマ燃焼により発生した各種形態のエネルギーや周辺補機設備、加熱電源設備等からの熱が多く発生する。そして、FER の場合これらエネルギーは除去する必要がある、その冷却媒体として主として冷却水を用いることで検討が進められている。

また、プラズマ真空度達成や炉壁吸蔵トリチウム放散のための炉本体をベーキングする機能も必要とされる。

本章では、こうした冷却系の仕様、合理化対策およびベーキング系の加熱方法等について、ACS 炉を一例として検討を行った。

### 7.2 系統設計条件

#### 7.2.1 炉型別 1 次冷却所要熱量

FER について検討されている各種炉型のうち、代表的なものの 1 次冷却所要熱量について、Table 7.2 - 1 に示す。

#### 7.2.2 ACS 炉系統条件

種々の炉型のうち、ACS 炉を代表例とし冷却系の系統条件について示す。

##### (1) 基本系統条件

被冷却機器からの要求仕様を、Table 7.2 - 2 および Fig. 7.2 - 1 に示す。

##### (2) 炉本体条件

本体遮蔽体には、水タンクを用いたものとする。

炉本体冷却熱量負荷については、ACS 炉（核融合出力 406 MW）に中性子増倍等による熱負荷増加分を考慮して算出した。ダイバータ部の熱負荷については、高密度低温ダイバータープラズマにおける熱負荷条件を用いた。

##### (3) 冷却水温度

炉本体被冷却機器への 1 次冷却水入口温度（給水温度）は、50℃以下とする。トリチウムおよび真空排気関連被冷却機器については、1 次冷却水入口温度は、50℃とする。また、2 次冷却系入口温度は、32℃にて供給するものとした。冷却水出口温度については、1 次冷却水は 100℃以下、2 次冷却水は 42℃程度となる様設定した。

##### (4) 冷却水圧力

炉本体供給 1 次冷却水については、①冷却水の相変化防止、②遮蔽体に水タンクを用いたことによる炉本体許容圧力、③冷却水圧損等の観点より、系の炉本体出口での基底圧力を炉本体圧損条件に応じて 1.2 MPa ~ 1.4 MPa 程度に設定する。

2 次冷却水については、冷却水圧損を考慮して、供給圧力を 0.4 MPa とする。

Table 7.2-1 Cooling duty of each systems

Cooling Loop	Cooling Duty (MW)				Water Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)			
	'85 FER	OPTION-C	ACS	MINI	'85 FER	OPTION-C	ACS	MINI
First Wall Loop (Loop-1A)	111	156	130	146	4150	4549	4650	4243
Shield Loop (Loop-1B)	174	237	232	219	15138	13575	13522	12936
Divertor Loop (Loop-1C)	53	71	74	66	2850	2374	2466	2193

Table 7.2-2 Cooling condition of components (ACS)

Cooling Loop	Services	Fluid	Temperature(°C)		Pressure (MPa)	Cooling Duty (MW)	No. of Units	Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)		
			Inlet	Outlet				per unit	total	
Primary Cooling Water	Loop-1A	Inboard Guard Limiter	Pure Water	50	100	1.0	6.4	12	9	110
	"	Upper Guard Limiter	"	50	100	1.0	13.8	12	20	238
	"	Movable Shield (F/W)	"	50	90	1.0	56.3	12	101	1210
	"	Permanent Shield (F/W)	"	50	90	1.0	21.9	12	105	1255
	"	ICRF (Launcher/Waveguide)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	LHRF (Launcher/Waveguide)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	No. 1 T/M (Jacket)	"	50	90	1.0	1.7	1	37	37
	"	No. 2 T/M (Jacket)	"	50	90	1.0	1.7	1	37	37
	"	Fuel Injection System (Jacket)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	Invessel Manipulator-1 (Jacket)	"	50	90	1.0	3.0	1	65	65
	"	No. 3 T/M (Jacket)	"	50	90	1.0	1.7	1	37	37
	"	Diagnostics-1 (Jacket)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	ECRF (Launcher/Waveguide)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	No. 4 T/M (Jacket)	"	50	90	1.0	2.2	1	48	48
	"	Diagnostics-2 (Jacket)	"	50	60	1.0	3.0	1	258	258
	"	Invessel Manipulator-2 (Jacket)	"	50	90	1.0	3.0	1	65	65
Primary Cooling Water	Loop-1B	Permanent Shield	Pure Water	50	65	1.0	96.0	12	459	5503
	"	Movable Shield	"	50	65	1.0	128.5	12	614	7366
	"	Divertor Shield	"	50	60	1.0	6.9	12	50	594
	"	Plasma Position Control Coil	"	50	60	1.0	0.7	1	60	60
Primary Cooling Water	Loop-1C	Divertor (Divertor Plate)	"	50	75	1.0	61.7	12	177	2122
	"	Divertor (Support Structure)	"	50	80	1.0	12.0	12	29	344
Primary Cooling Water	Loop-1D	Fuel Gas Purification System HVAC/TCS Cryostat Exhaust System	Pure Water	5	10	<0.4	2.0	1	344	344
Test Module	Loop-T/M	No. 1 T/M (Pri. Coolant)	Pure Water	50	90	1.0	1.7	1	37	37
	"	No. 1 T/M (Sec. Coolant)	Treat. Water	32	50	0.1	-	1	81	81
	"	No. 2 T/M (Pri. Coolant)	Pure Water	50	90	1.0	1.7	1	37	37
	"	No. 2 T/M (Sec. Coolant)	Treat. Water	32	50	0.1	-	1	81	81
	"	No. 3 T/M (Pri. Coolant)	Helium	100	160	4.0	1.7	1	20	20
	"	No. 3 T/M (Sec. Coolant)	Treat. Water	32	50	0.1	-	1	81	81
	"	No. 4 T/M (Pri. Coolant)	Pure Water	280	320	15.0	1.2	1	26	26
	"	No. 4 T/M (Sec. Coolant)	Treat. Water	32	50	0.1	-	1	58	58
Secondary Cooling Water	Loop-2A	Intermediate H. Ex. (Loop-1A)	Treat. Water	35	55	<0.4	129.7	1	5640	5640
	Loop-2B	Intermediate H. Ex. (Loop-1B)	"	35	55	<0.4	232.1	2	6808	6808
	Loop-2C	Intermediate H. Ex. (Loop-1C)	"	35	55	<0.4	73.7	1	4231	4231
	Loop-2D	Water Chilling Unit (Loop-1D)	"	32	37	<0.4	2.0	1	344	344
	Loop-2E	Resistor Cooling Unit	"	32	42	<0.4	4.3	-	-	500
	Loop-2F	ICRF (Power Supply/Amplifier)	"	32	42	<0.4	20	1	1720	1720
	"	LHRF (Power Supply/Amplifier)	"	32	42	<0.4	20	1	6019	6019
	"	ECRF (Power Supply/Amplifier)	"	32	42	<0.4	20	1	1720	1720
	"	PEC (Transformer/Rectifier)	"	32	42	<0.4	45	-	-	3870
	"	TFC (Transformer/Rectifier)	"	32	42	<0.4	3	-	-	260
	Loop-2G	Motor Generator	"	32	42	<0.4	35	-	-	3000
Loop-2H	Coil Refrigerator	"	32	42	<0.4	35	1	6020	6020	
Loop-2I	Air Conditioning Unit	"	32	42	<0.4	0.45	1	76	76	

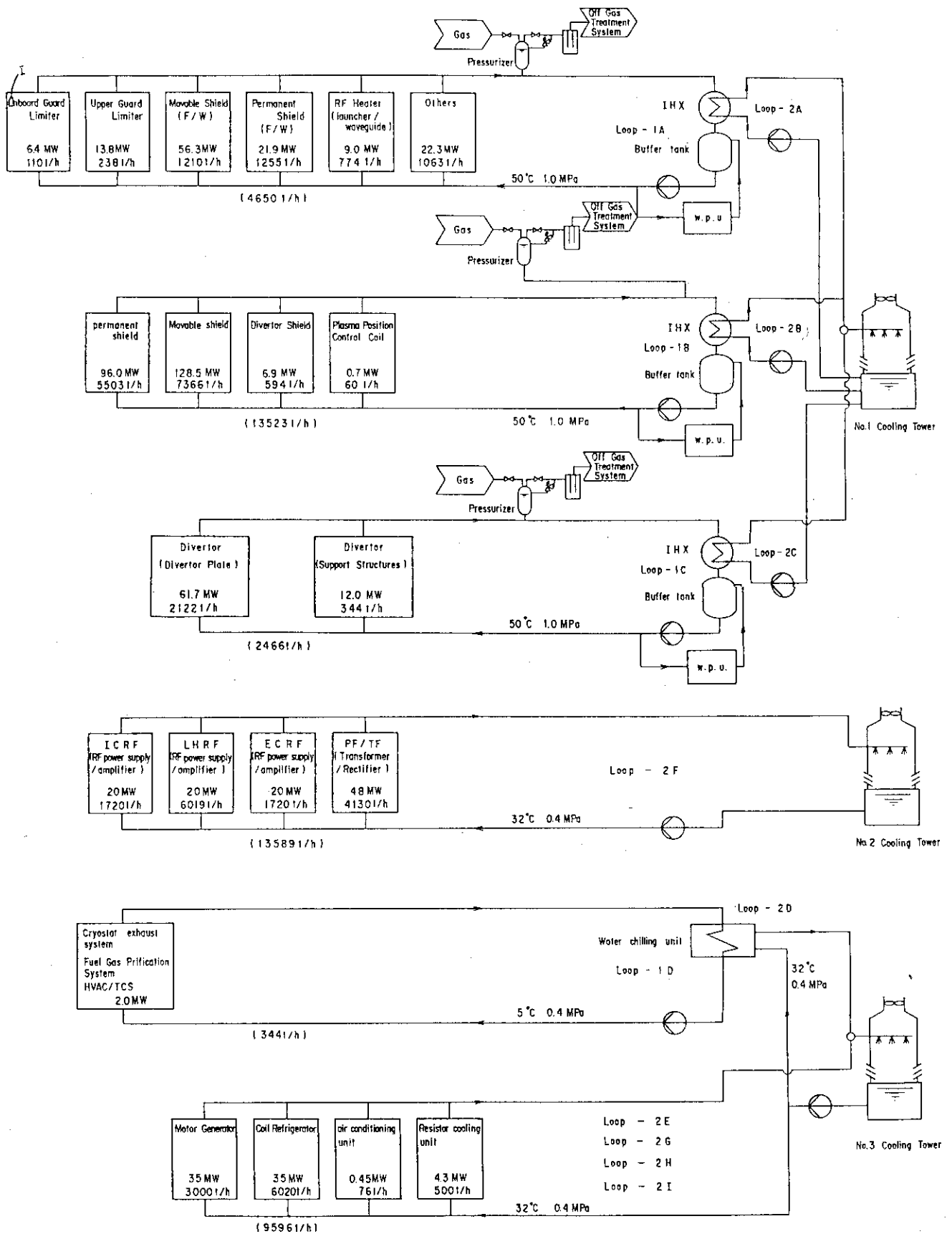


Fig. 7.2-1 Flow diagram of FER cooling system

### 7.3 系統構成

#### 7.3.1 基本方針

##### (1) 1次冷却水系

下記条件に該当する冷却系統について、1次冷却水を供給するものとした。また、1次冷却水の系統分けは、各被冷却体の特性により区分した。

設定条件

- 1) 冷却水中にトリチウム侵入の可能性が有る系
- 2) 水中不純物の放射化が考えられる系
- 3) 水中不純物による電気的性能低下が考えられる系（プラズマ加熱・電源装置など）

上記設定条件に対し、1)項のトリチウム侵入性については、1次冷却水を閉ループ構成とし、中間熱交換器・2次冷却水による熱回収とすることにより外部へのトリチウム漏洩の可能性を出来る限り小さくした。

2)項の水中不純物の放射化については、機器・配管等、冷却水と接する部材について、オーステナイト系ステンレス鋼を用い、コロージョンおよびエロージョンによる腐食生成物の発生を低減したり、純水を用いることにより水中不純物量を低減するものとし、また、冷却ループ途中に純水精製装置を設け、純水中の不純物濃度を許容値以下に保つようにする。3)項も2)項同様の対応とする。

##### (2) 2次冷却水系

下記条件に該当する冷却系統について、2次冷却水を供給するものとした。

- 1) 1次冷却水を冷却する必要が有る系（炉心冷却系、プラズマ加熱・電源装置冷却系）
- 2) ユニット機器冷却系（冷水ユニット、冷凍機、換気空調システム等の冷却用）

#### 7.3.2 全体フロー

冷却水系全体フローをFig. 7.3 - 1に示す。

##### (1) 1次冷却水系

炉本体の冷却は、1)第1壁冷却系、2)遮蔽体冷却系、3)ダイバータ冷却系の3ループにて構成される。この他、炉本体補機やプラズマ加熱・電源の冷却用等に1次冷却水が用いられる。

##### 1) 第1壁冷却系

純水製造装置にて製造された水により、系内を満した後、加圧器により系内を昇圧する。この加圧器は、系内加圧の他に冷却水の温度変化に伴なう体積変化を吸収する役目も持つ。

系内昇圧後、冷却水循環ポンプを起動し水循環を行う。運転時炉本体冷却により昇温した1次冷却水は、中間熱交換器を介し2次冷却水により50℃まで冷却される。中間熱交換器を出た冷却水は、バッファータンクに導かれる。バッファータンクの目的は、(a)冷却水の脈動吸収、(b)冷却水流出時の急速な流量減少防止、(c)冷却水循環ポンプの必要有効吸込ヘッド確保である。

バッファータンクを出た冷却水は、再び冷却水循環ポンプに戻り、以後同様のサイクルを繰り返す。

1 次冷却水の循環中に生じた腐食生成物は、冷却水循環ポンプ吐出側より冷却水を一部抜き出し、純水精製ユニットにて腐食生成物除去を行い系内に戻す様にする。

2) 遮蔽体およびダイバータ 1 次冷却系

上記冷却系についても炉本体 1 次冷却系と同様の冷却水ループにより水循環がなされる。

3) 炉本体補機 1 次冷却系

燃料注入精製系、換気空調系、真空排気系については、冷水ユニットにて 5℃、4 MPa に冷却された 1 次冷却水が用いられる。

4) プラズマ加熱・電源 1 次冷却系

上記冷却系については、独立した 1 次冷却系にて構成され、中間熱交換器を介して 2 次冷却系へ排熱される。

以上より、Fig. 7.3 - 1 に示す 1 次冷却水系については、次のように分けた。

・炉本体 1 次冷却系

- a) 第 1 壁冷却系 : LOOP - 1 A
- b) 遮蔽体冷却系 : LOOP - 1 B
- c) ダイバータ冷却系 : LOOP - 1 C

・トリチウム処理・搬送系 : LOOP - 1 D

（冷水ユニット 1 次冷却系）

・プラズマ加熱・電源 1 次冷却系 : LOOP - 1 E, 1 F

(2) 2 次冷却水系

2 次冷却水系は大別して、1 次冷却水冷却系と補機設備冷却系に分けられる。このうち 1 次冷却水冷却系は、炉本体の 1 次冷却水を冷却するものや、プラズマ加熱電源系統に用いる 1 次冷却水を冷却するものなどがあり、いずれも中間熱交換器を介して 2 次冷却水により除熱を行う。補機設備冷却系には、トリチウム関連補機に冷水を供給するための冷水ユニット冷却系や空調設備、コイル冷凍機などへの冷却系などがある。

以上より、Fig. 7.3 - 1 に示す 2 次冷却水系については、次のように分けた。

・炉本体 2 次冷却系

- a) 第 1 壁冷却系 : LOOP - 2 A
- b) 遮蔽体冷却系 : LOOP - 2 B
- c) ダイバータ冷却系 : LOOP - 2 C
- d) 冷水ユニット 2 次冷却系 : LOOP - 2 D
- e) 抵抗器冷却系 : LOOP - 2 E
- f) プラズマ加熱電源 2 次冷却系 : LOOP - 2 F, 2 G
- g) コイル冷凍機系 : LOOP - 2 H
- h) 換気空調系 : LOOP - 2 I
- i) その他

(3) テストモジュール冷却系

テストモジュールの冷却媒体構成は、Table 7.3 - 1 に示す。テストモジュールジャケット冷却は、1 次冷却水を供給するものとする。

### 7.3.3 炉本体セクター別フロー

Fig. 7.3-2, 7.3-3にACS炉の場合の炉本体セクター別フローを示す。各セクター共通の部分については、Fig. 7.3-2に、またセクター毎に水供給条件の異なるポート部については、Fig. 7.3-3に示す。

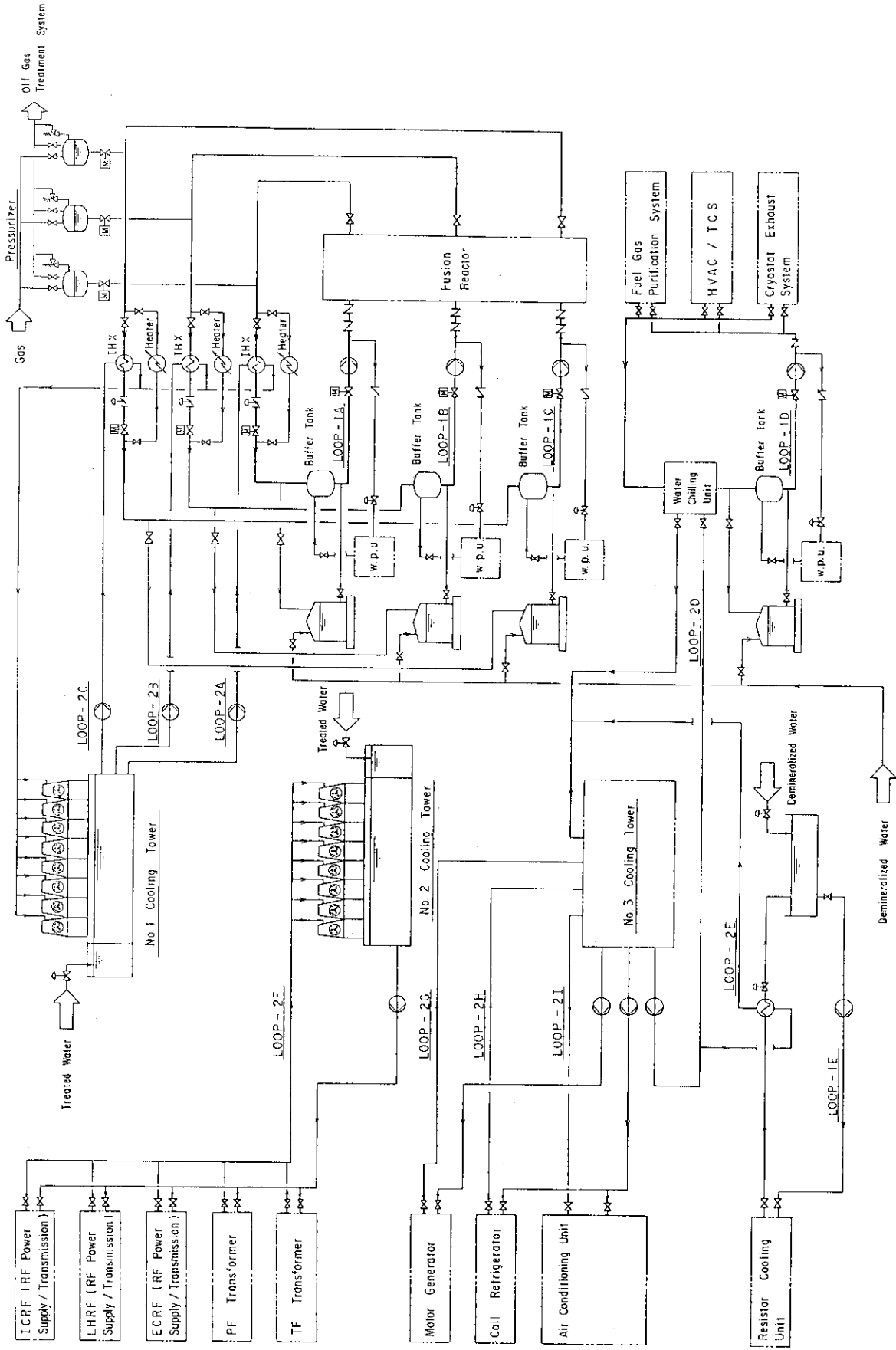


Fig. 7.3-1 Flow diagram of FER cooling system



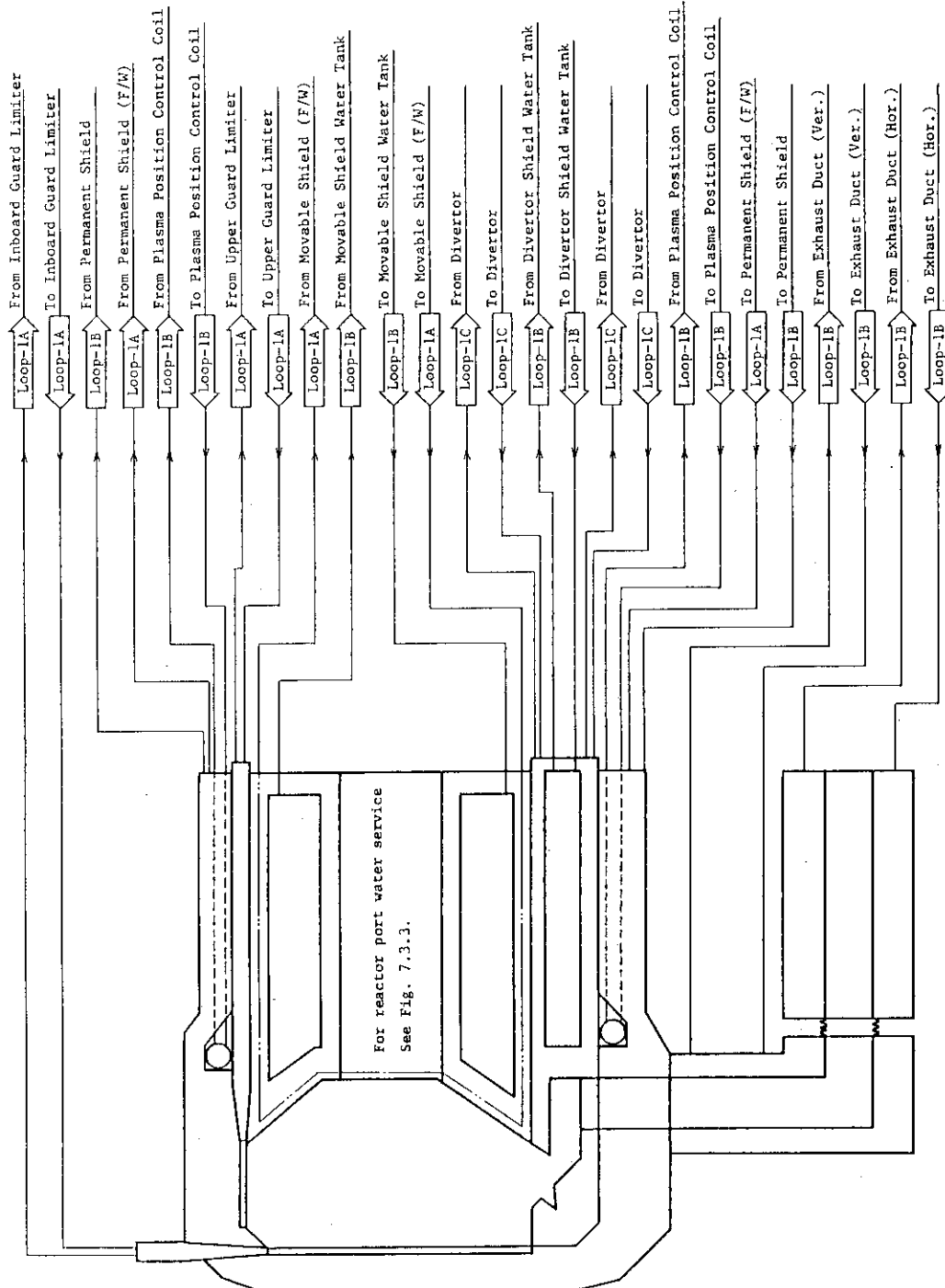


Fig. 7.3-2 Flow diagram of FER cooling system (Reactor cell-ACS)

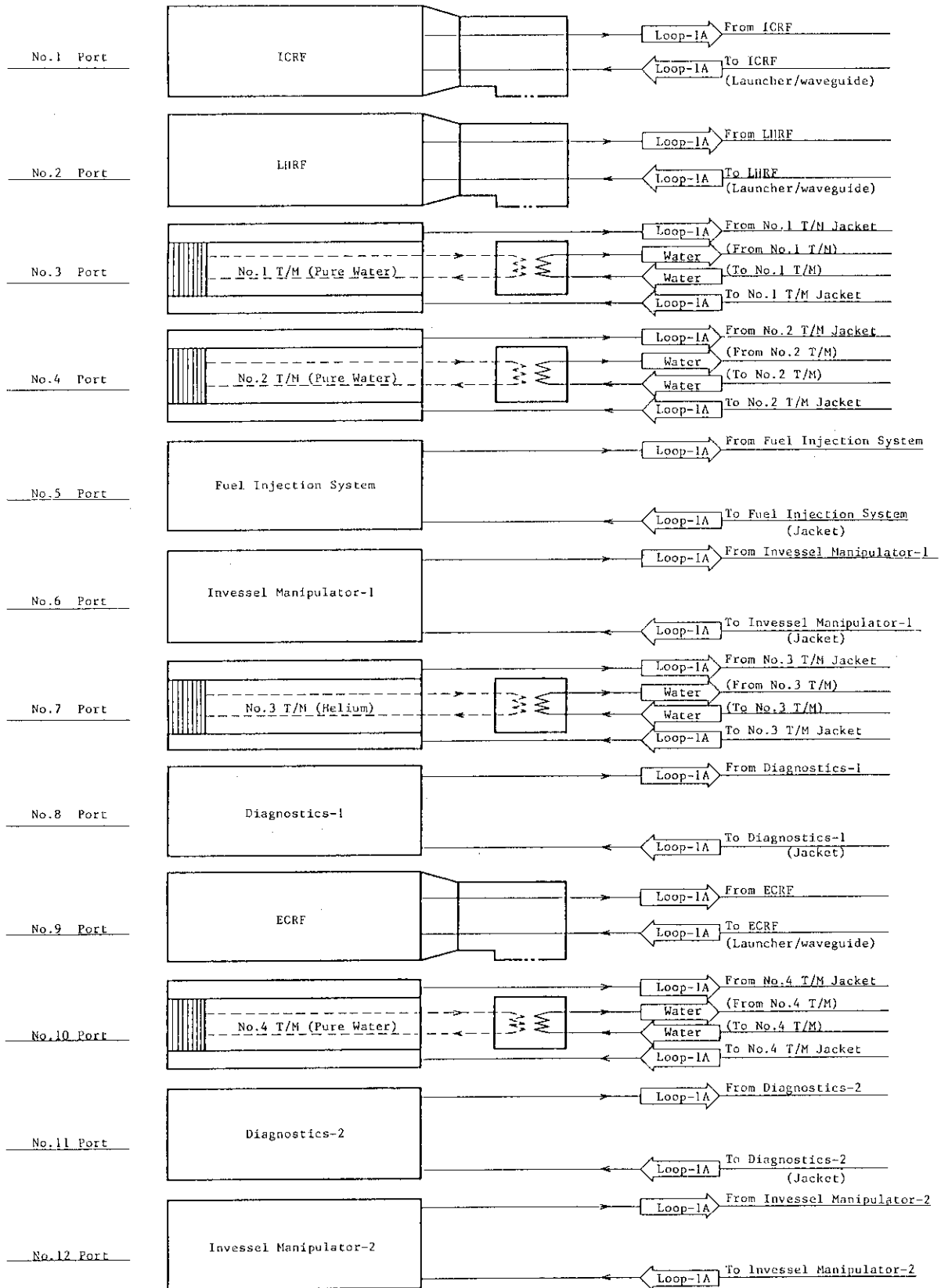


Fig. 7.3-3 Flow diagram of FER cooling system (Reactor port-ACS)

Table 7.3-1 Specification of test modules

Cooling System	Removal Heat (MW)	Primary Coolant				Secondary Coolant			
		Fluid	Inlet/Outlet Temp. (°C)	Pressure (MPa)	Flow Rate (t/h)	Fluid	Inlet/Outlet Temp. (°C)	Pressure (MPa)	Flow Rate (t/h)
No.1 Test Module	1.7	H <sub>2</sub> O	50/90	1	37	H <sub>2</sub> O	32/50	0.1	81
No.2 Test Module	1.7	H <sub>2</sub> O	50/90	1	37	H <sub>2</sub> O	32/50	0.1	81
No.3 Test Module	1.7	He	100/160	4	20	H <sub>2</sub> O	32/50	0.1	81
No.4 Test Module	1.2	H <sub>2</sub> O	280/320	15	26	H <sub>2</sub> O	32/50	0.1	58

## 7.4 主要機器設計

本年度の主要機器設計については、JAERI-M 86 - 149にて検討した機器仕様、方式選定の考え方を引き継ぎ、ACS炉に対応した仕様見直しを行うにとどめた。また、今後の合理化の課題については、7.6節に合理化指針として述べるものとした。

冷却水系を構成する主要機器の設計仕様について、以下に示す。

### (1) 1次冷却水循環ポンプ

各系についての流量条件や圧力条件等についての冷却系基本条件をFig. 7.4 - 1からFig. 7.4 - 3に示す。ここで管径決定のための管内平均流速は、Table 7.4 - 1に示すように、管径に応じて設定した。配管圧力損失については、ベルヌーイおよびダーシー式よりの導出式を用いた。冷却水の流量配分について、LOOP-1B系統は1ラインにて供給するには製作上の観点より無理があり、2ラインにて供給するものとした。

以上より、1次冷却水循環ポンプの仕様について、Table 7.4 - 2に示し外形図例をFig. 7.4 - 4に示す。

### (2) 1次冷却水中間熱交換器

各々の冷却水系に対応する冷却熱負荷は、Table 7.2-2に示す数値を用いた。2次冷却水の入口、出口温度は、35℃、55℃の温度とした。

1次冷却水中間熱交換器の仕様について、Table 7.4 - 3に示す。

### (3) 2次冷却水冷却塔

2次冷却水の冷却方法については、自然通風型乾式法、自然通風型湿式法、強制通風型乾式法、強制通風型湿式法、強制通風型半乾式法、冷却水冷却器法などがあげられるが、ここでは、経済性、設置面積低減の観点から強制通風型湿式冷却塔について、ACS炉の冷却熱負荷量に対応した検討を行った。また、冷却塔の合理化については、7.6節にて述べる。2次冷却水冷却塔のうち炉本体冷却用冷却塔について、Table 7.4 - 5, Fig. 7.4 - 6に仕様と外形図を示す。

### (4) その他の主要機器

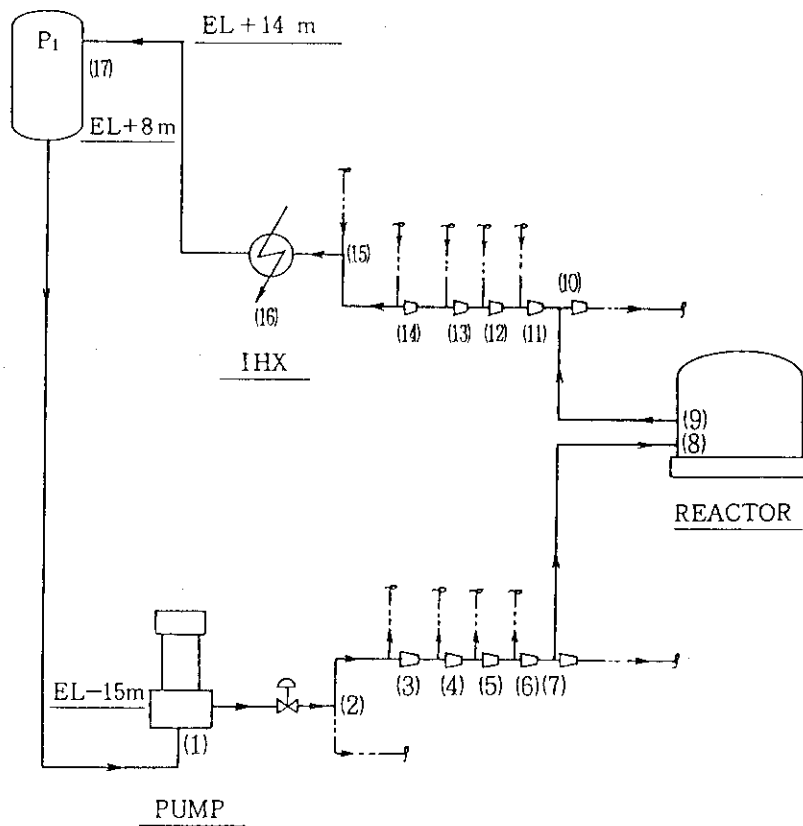
その他の主要機器仕様について、炉本体1次冷却水用バッファータンクは、Table 7.4-4, Fig. 7.4 - 5に示し、加圧装置は、Table 7.4 - 7, Fig. 7.4 - 7に示す。

また、燃料ガス循環系、換気空調系、真空排気系などについて、ユニット運転上冷却水供給は低温である方が好ましく5℃にて供給するものとし、このための冷水ユニットを設けた。仕様について、Table 7.4 - 6に示す。

Table 7.4-1 Cooling water average flow velocity

Pipe Size	Flow Velocity (m/sec)
500 ~ 1000A	2.0 ~ 3.0
300 ~ 450A	1.5 ~ 2.0
100 ~ 250A	1.0 ~ 1.5
25 ~ 80A	0.5 ~ 1.0

BUFFER TANK



- 1) Cooling Loop : Loop-1A
- 2) Fluids : Pure Water
- 3) Fluid Temp. [°C] : 50 - 100
- 4) Viscosity [cp] : 0.549

5) Flow Rate [m<sup>3</sup>/h]:

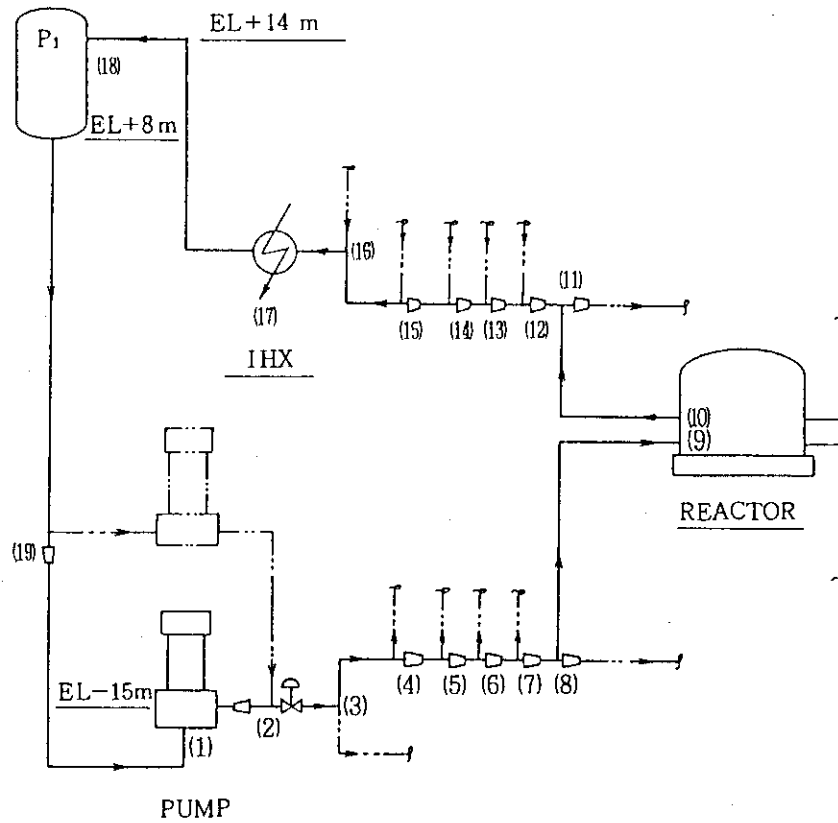
Route	Flow Rate [m <sup>3</sup> /h]	Pipe Size (A)
(1) → (2), (15) → (1)	4,700	800
(2) → (3), (14) → (15)	2,350	600
(3) → (4), (13) → (14)	1,960	600
(4) → (5), (12) → (13)	1,570	500
(5) → (6), (11) → (12)	1,180	500
(6) → (7), (10) → (11)	790	400
(7) → (10),	400	300

(Total Flow Rate)  
4,700 m<sup>3</sup>/h

- 6) Pressure [MPa] : Pump Suction 0.83 MPa  
Pump Discharge 1.54 MPa

Fig. 7.4-1 Flow condition of loop-1A (ACS)

BUFFER TANK

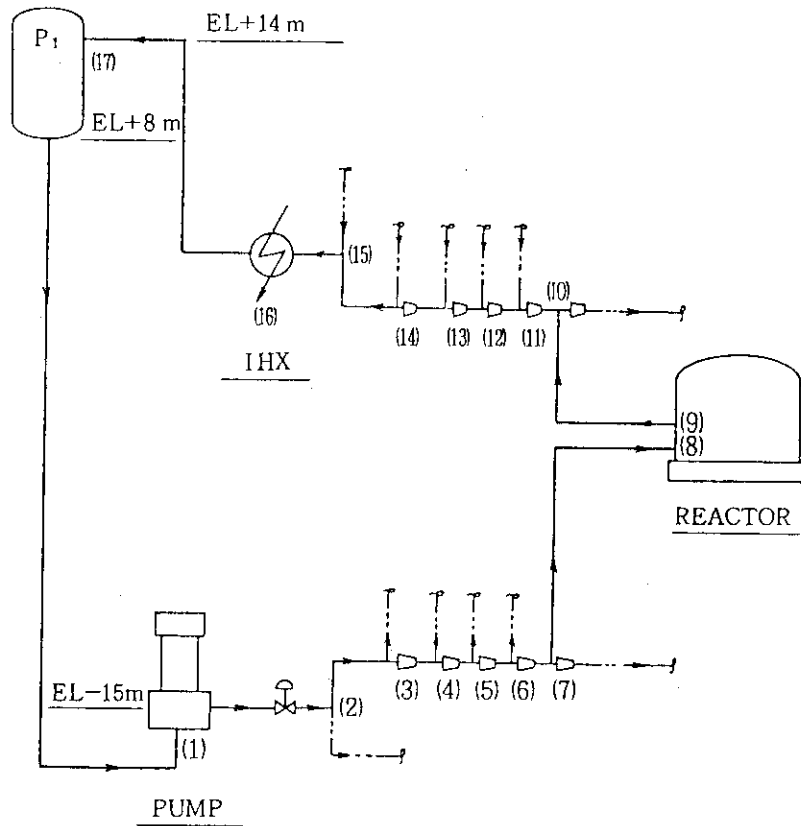


- 1) Cooling Loop : Loop-1B
- 2) Fluids : Pure Water
- 3) Fluid Temp. (°C) : 50 - 90
- 4) Viscosity (cp) : 0.549
- 5) Flow Rate (m<sup>3</sup>/h) :
 

Route	Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Pipe Size (A)
(1) → (2), (19) → (1)	3,450	700
(2) → (3), (16) → (19)	6,900	1000
(3) → (4), (15) → (16)	6,900	1000
(4) → (5), (14) → (15)	5,750	900
(5) → (6), (13) → (14)	4,600	800
(6) → (7), (12) → (13)	3,450	700
(7) → (8), (11) → (12)	2,300	600
(8) → (11),	1,150	400
- 6) Pressure (MPa) : Pump Suction 0.83 MPa  
 Pump Discharge 1.54 MPa

Fig. 7.4-2 Flow condition of loop-1B (ACS)

BUFFER TANK



- 1) Cooling Loop : Loop - 1C
  - 2) Fluids : Pure Water
  - 3) Fluid Temp. (°C) : 50 - 90
  - 4) Viscosity [cp] : 0.594
  - 5) Flow Rate [m<sup>3</sup>/h]:
- |   | Route                  | Flow Rate [m <sup>3</sup> /h] | Pipe Size [A] |
|---|------------------------|-------------------------------|---------------|
| ( Total Flow Rate )<br>( 2500 m <sup>3</sup> /h ) | (1) → (2), (15) → (1)  | 2500                          | 600           |
|   | (2) → (3), (14) → (15) | 1250                          | 500           |
|   | (3) → (4), (13) → (14) | 1050                          | 500           |
|   | (4) → (5), (12) → (13) | 840                           | 400           |
|   | (5) → (6), (11) → (12) | 630                           | 400           |
|   | (6) → (7), (10) → (11) | 420                           | 300           |
|   | (7) → (10),            | 210                           | 200           |
|   |                        |                               |               |
- 6) Pressure [MPa] : Pump Suction 0.66 MPa  
 Pump Discharge 1.54 MPa

Fig. 7.4-3 Flow condition of loop-1C (ACS)



Table 7.4-2 Specification of pumps

EQUIPMENT NUMBER	126-P001 A/B	126-P002 A-F	126-P003 A/B
EQUIPMENT NAME	Primary Water Pump A	Primary Water Pump B	Primary Water Pump C
LOCATION	Loop-1A Line	Loop-1B Line	Loop-1C Line
NUMBER OF PUMPS	1 + 1	2 + 2	1 + 1
TYPE	Diagonal Flow Pump (Vertical)	←----	←----
FLUID	Demi. Water	←----	←----
FLOW RATE (m <sup>3</sup> /h/unit)	4700	6900	2500
TOTAL FLOW RATE (m <sup>3</sup> /h)	4700	13800	2500
OPERATING PRESSURE (SUC.) (MPa)	0.83	1.83	0.66
" (DIS.) (MPa)	1.54	1.54	1.54
OPERATING TEMPERATURE (°C)	50°C / 150°C-168hr*1	←----	←----
BODY MATERIAL	S.S.	S.S.	S.S.
PUMPING POWER	1,250 kW	1,800 kW	900 kW

\*1 : 50°C Normal Operation  
150°C Baking Operation

Table 7.4-3 Specification of heat exchangers

EQUIPMENT NUMBER	126-H001 A/B	126-H002 A/B/C	126-H003
EQUIPMENT NAME	Intermediate H.E. (A)	Intermediate H.E. (B)	Intermediate H.E. (C)
LOCATION	Loop-1A Line	Loop-1B Line	Loop-1C Line
NUMBER OF HEAT EXCHANGES	1	2	1
TYPE	Shell and Tube.	←	←
FLUID (SHELL SIDE)	Treated Water	←	←
FLUID (TUBE SIDE)	Demi. Water	←	←
HEAT EXCHANGED (MW/Unit)	129.7	116.1	73.7
TOTAL HEAT EXCHANGED (MW)	129.7	267.3	80.2
PRIMARY COOLANT PRESSURE (MPaG)	1.0	1.0	1.0
OPER. TEMP. (SHELL-IN/OUT) (°C)	35   55	35   55	35   55
" (TUBE-IN/OUT) (°C)	74   50	64.8   50	75.7   50
FLOW RATE (SHELL SIDE) (t/h/unit)	5,640	6,808	2,231
" (TUBE SIDE) (t/h/unit)	4,700	6,900	2,470
BODY MATERIAL (SHELL/TUBE)	C/S   S.S.	C/S   S.S.	C/S   S.S.
DIMENSION OF TUBES (mm)	190 <sup>D</sup> x10,800 <sup>L</sup> x2 <sup>t</sup>	190 <sup>D</sup> x9,500 <sup>L</sup> x2 <sup>t</sup>	190 <sup>D</sup> x10,700 <sup>L</sup> x2 <sup>t</sup>
NUMBER OF TUBES (Min. Req.)	19,961	19,028	6,812
DIMENSION OF SHELL (mm)	3,600 <sup>ID</sup> x 16,000 <sup>L</sup>	4,500 <sup>ID</sup> x 16,000 <sup>L</sup>	2,700 <sup>ID</sup> x 16,000 <sup>L</sup>

Table 7.4-4 Specification of vessels (1)

EQUIPMENT NUMBER	126-D001	126-D002	126-D003
EQUIPMENT NAME	Buffer Tank A	Buffer Tank B	Buffer Tank C
LOCATION	Loop-1A Line	Loop-1B Line	Loop-1C Line
NUMBER OF VESSELS	1	1	1
TYPE	Vertical and Cylindrical		
FLUIDS	Demi. Water		
CAPACITY (m <sup>3</sup> )	40	60	22
DESIGN PRESSURE (MPa)	2.5	2.5	2.5
DESIGN TEMPERATURE (°C)	50°C / 150°C-168hr*1		
BODY MATERIAL	S.S.		
DIMENSION (mm)	3,000 ID x 6,000 H x 30 t	3,500 ID x 7,000 H x 35 t	2,500 ID x 5,000 H x 25 t

\*1 : 50°C Normal Operation  
150°C Baking Operation

Table 7.4-5 Specification of cooling towers

EQUIPMENT NUMBER	126-Q001
EQUIPMENT NAME	Cooling Tower (1)
LOCATION	Loop-2A, 2B, 2C
=====	
NUMBER OF COOLING TOWERS	1
TYPE	Forced Draft Cooling Tower
	Wet Type
NET COOLING DUTY (MW)	441.8
Dry-bulb/Wet-bulb temp. (°C)	29.5   26.5
FLOW RATE OF C.W. (m <sup>3</sup> /h)	19,000
OPE. TEMP. (IN/OUT) (°C)	55   35
NUMBER OF UNIT CELL	8
DIAMETER OF FAN	8.5 m x 8 set
RPM	75 rpm
AIR QUANTITY (m <sup>3</sup> /min/fan)	2520 0
FAN POWER (kW/fan)	110 (8 poles)
Make up water	
Evaporation loss (m <sup>3</sup> /h)	663 (3.49%)
Windage loss (m <sup>3</sup> /h)	19
Blow Down (m <sup>3</sup> /h)	N*=3 313 N*=4 202 N*=5 147
Dimension (m)	15.36 <sup>W</sup> <sub>m</sub> x 96 <sup>L</sup> <sub>m</sub> x 7.42 <sup>H</sup>

Table 7.4-6 Specification of chield water unit

EQUIPMENT NUMBER	126-U005
EQUIPMENT NAME	Chield Water Unit.
LOCATION	Loop-1D Line
=====	
NUMBER OF UNITS	1
TYPE	PACKED TYPE
FLUIDS (PRIMARY)	Demi. Water
" (SECONDARY)	Treated Water
NET COOLING DUTY (MW)	1.16
OPE. PRESS. (PRIMARY) (MPaG)	0.4
" (SECONDARY) (MPaG)	0.4
OPE. TEMP. (PRIMARY-IN/OUT) (°C)	10   5
" (SECONDARY-IN/OUT) (°C)	32   37
FLOW RATE (PRIMARY) (m <sup>3</sup> /h)	200(212)
" (SECONDARY) (m <sup>3</sup> /h)	256
DIMENSION-MAIN UNIT (mm)	(4109 <sup>L</sup> x1280 <sup>W</sup> x2274 <sup>H</sup> )
-ELEC. PANEL (mm)	(700 <sup>L</sup> x 800 <sup>W</sup> x 1950 <sup>H</sup> )

Table 7.4-7 Specification of vessels (2)

EQUIPMENT NUMBER	126-D005	126-D006	126-D007
EQUIPMENT NAME	Pressurizer A	Pressurizer B	Pressurizer C
LOCATION	Loop-1A Line	Loop-1B Line	Loop-1C Line
NUMBER OF VESSEL	1	1	1
TYPE	Vertical and Cylindrical		
FLUID	Pressurized with GAS		
OPERATING TEMPERATURE (°C)	Demi. Water		
DESIGN PRESSURE (MPaG)	50°C / 150°C-168hr*1		
DESIGN TEMPERATURE (°C)	2.5		
DIMENSION (mm)	170°C 2,000 $\phi$ x4,000 <sup>H</sup> x20 <sup>t</sup>	2,500 $\phi$ x6,000 <sup>H</sup> x25 <sup>t</sup>	1,500 $\phi$ x3,500 <sup>H</sup> x15 <sup>t</sup>

\*1: 50°C Normal Operation  
150°C Baking Operation

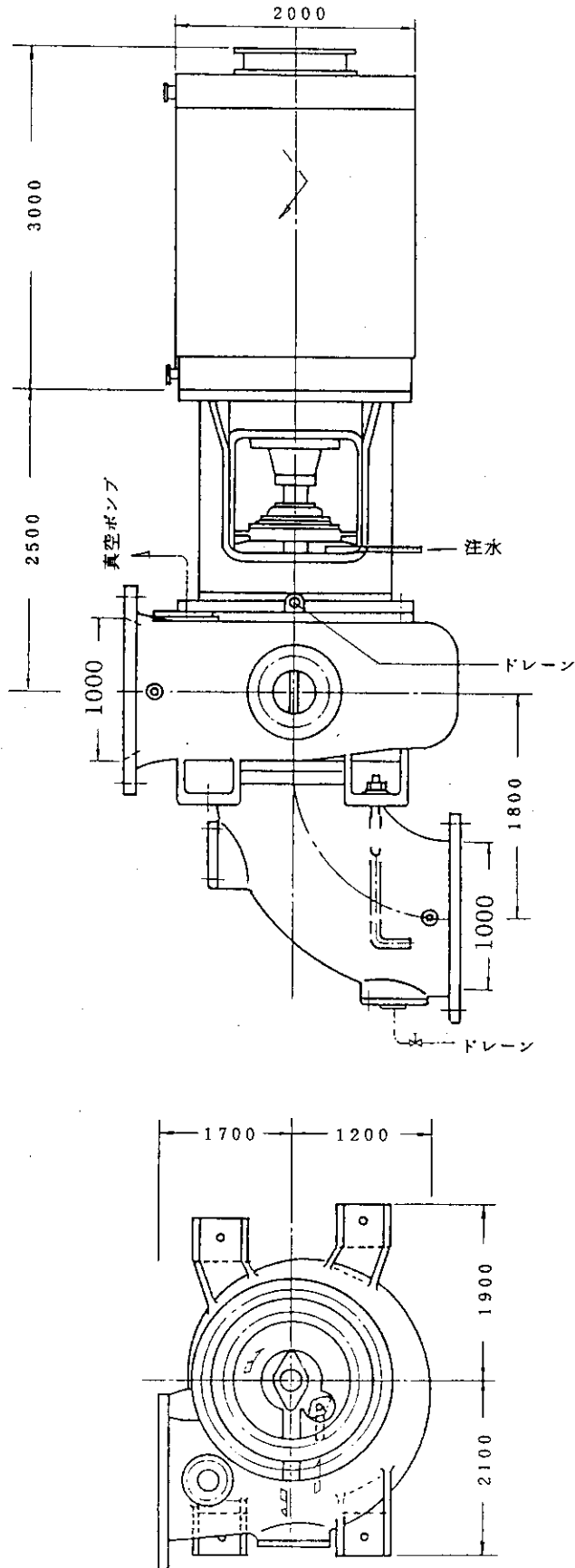


Fig. 7.4-4 Schematic drawing of primary water pump (Loop-1B)

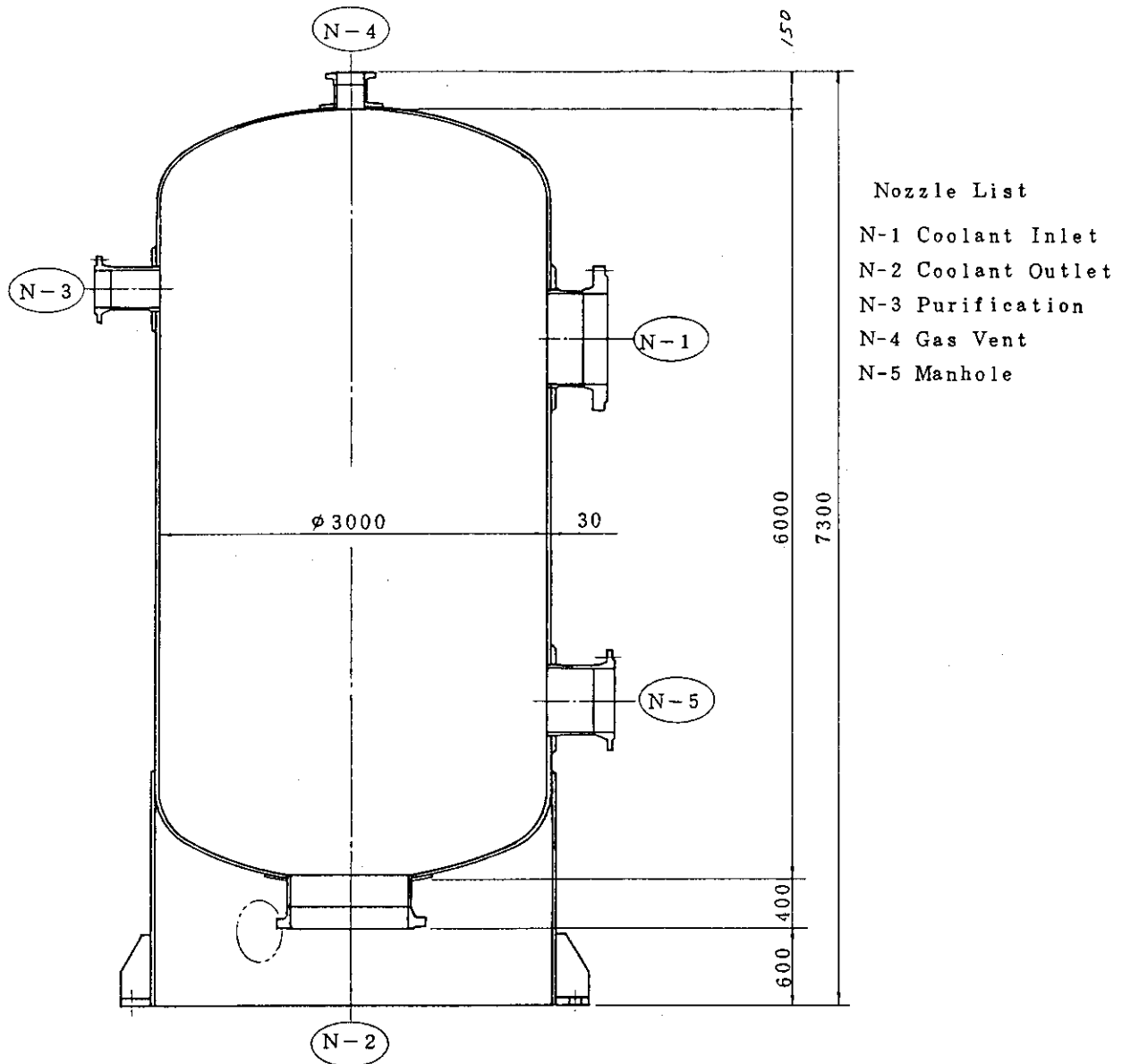
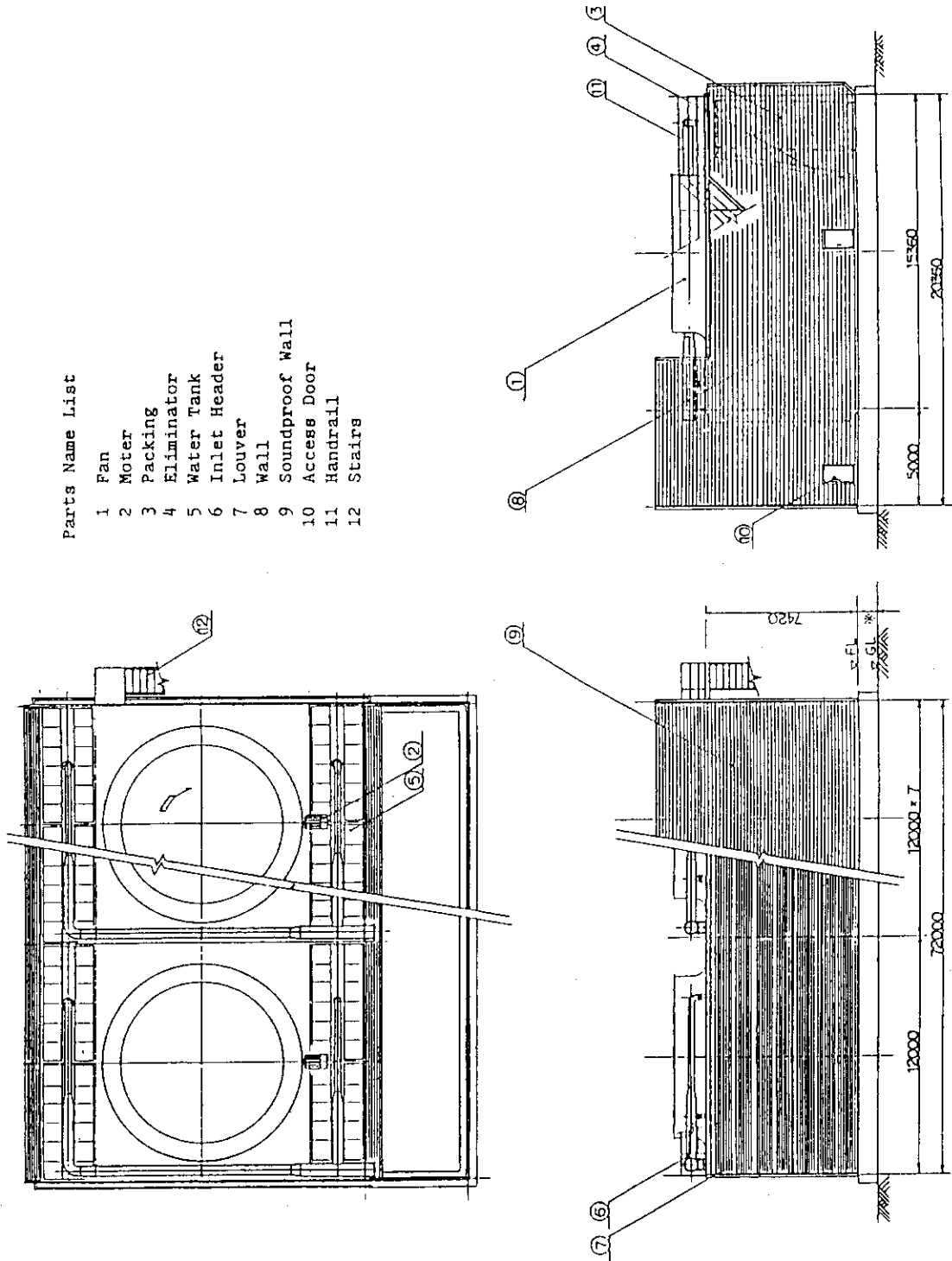


Fig. 7.4-5 Schematic drawing of buffer tank (Loop-1A)



Parts Name List

- 1 Fan
- 2 Moter
- 3 Packing
- 4 Eliminator
- 5 Water Tank
- 6 Inlet Header
- 7 Louver
- 8 Wall
- 9 Soundproof Wall
- 10 Access Door
- 11 Handrail
- 12 Stairs

Fig. 7.4-6 Schematic drawing of cooling tower



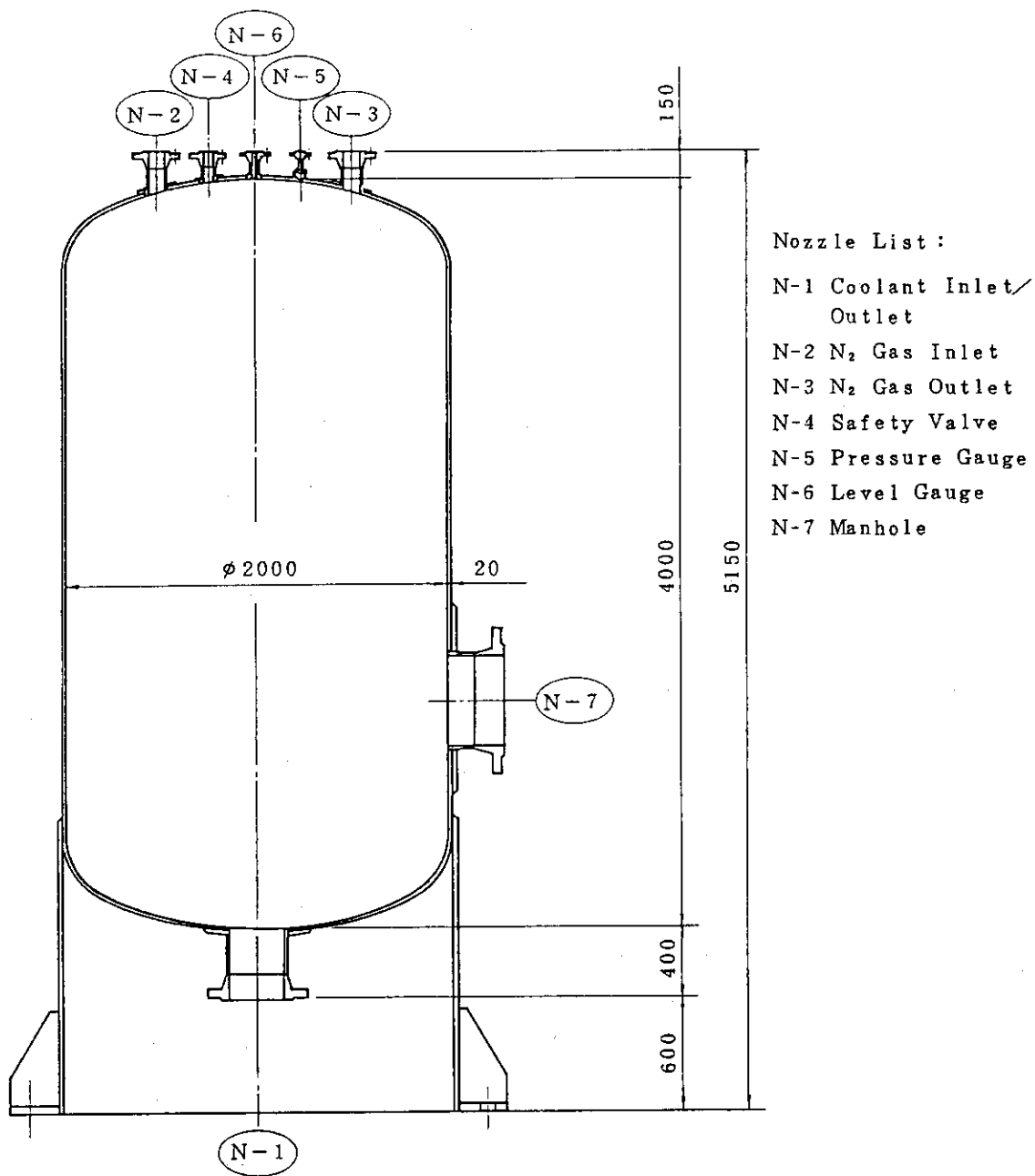


Fig. 7.4-7 Schematic drawing of pressurizer (Loop-1A)

## 7.5 冷却系のパルス応答解析

冷却系の合理化に際しては、被冷却機器での冷却材温度の変動を把握すると共に、許容し得る変動幅を明らかにし、冷却条件および制御方法等に対する最適化を行うことが重要である。このような観点から、本項では、1次冷却材の温度応答について検討し、これにより今後の冷却系設計の詳細化および適切な制御方法の検討等に資するものとする。

冷却系の動特性解析においては、炉本体冷却系の1次系をFig. 7.5-1に示すようにモデル化した。この系統に対し、プラズマ燃焼状態で初期バランスをとった後、それに続く休止時間および燃焼時間の1パルスに対する応答を計算した。その際、熱交換器の2次系冷却材入口温度は35°Cで一定とした。尚、プラズマ燃焼条件で定常状態となった場合の冷却系内各部温度をFig. 7.5-1中の( )内に示す。

燃焼時間/休止時間を800/200秒および2000/300秒とした場合の温度応答をそれぞれFigs. 7.5-2, 7.5-3, 7.5-4に示す。図中Ⓐ～ⒺはFig. 7.5-1中に同記号で示す各位置での応答を表わす。(すなわち、Ⓐ：炉出口、Ⓑ：熱交換器1次系入口、Ⓒ：熱交換器1次系出口、Ⓓ：炉入口、Ⓔ：熱交換器2次系出口)燃焼時間/休止時間として800/300秒の場合は、Fig. 7.5-3の1100秒までを見ることで、その1パルスの応答を読み取ることができる。本検討では、休止時間中でも熱交換器の2次系を定格で運転することとしている。このため炉入口の冷却材温度が50°Cよりも低下しており、その低下幅は休止時間300秒および200秒の場合で約9°Cである。また、炉入口温度の低下が冷却材流れの時間遅れを伴ってフィードバックされるため、炉出口温度を初めとする冷却系各部温度が振動する現象が生じている。振動幅は大きなものではなく、徐々に収束する傾向にある。この炉入口温度の低下および温度の振動を避けるためには、休止時間での1次冷却材の熱交換器のバイパス、あるいは2次系冷却材の流量調節等の制御方法を検討しておくことが重要である。例えば、Fig. 7.5-1の冷却系に対しては、休止時間開始後70~80秒以内に上記のバイパスあるいは流量調節を行えば、炉入口温度の低下を防ぐことができる。

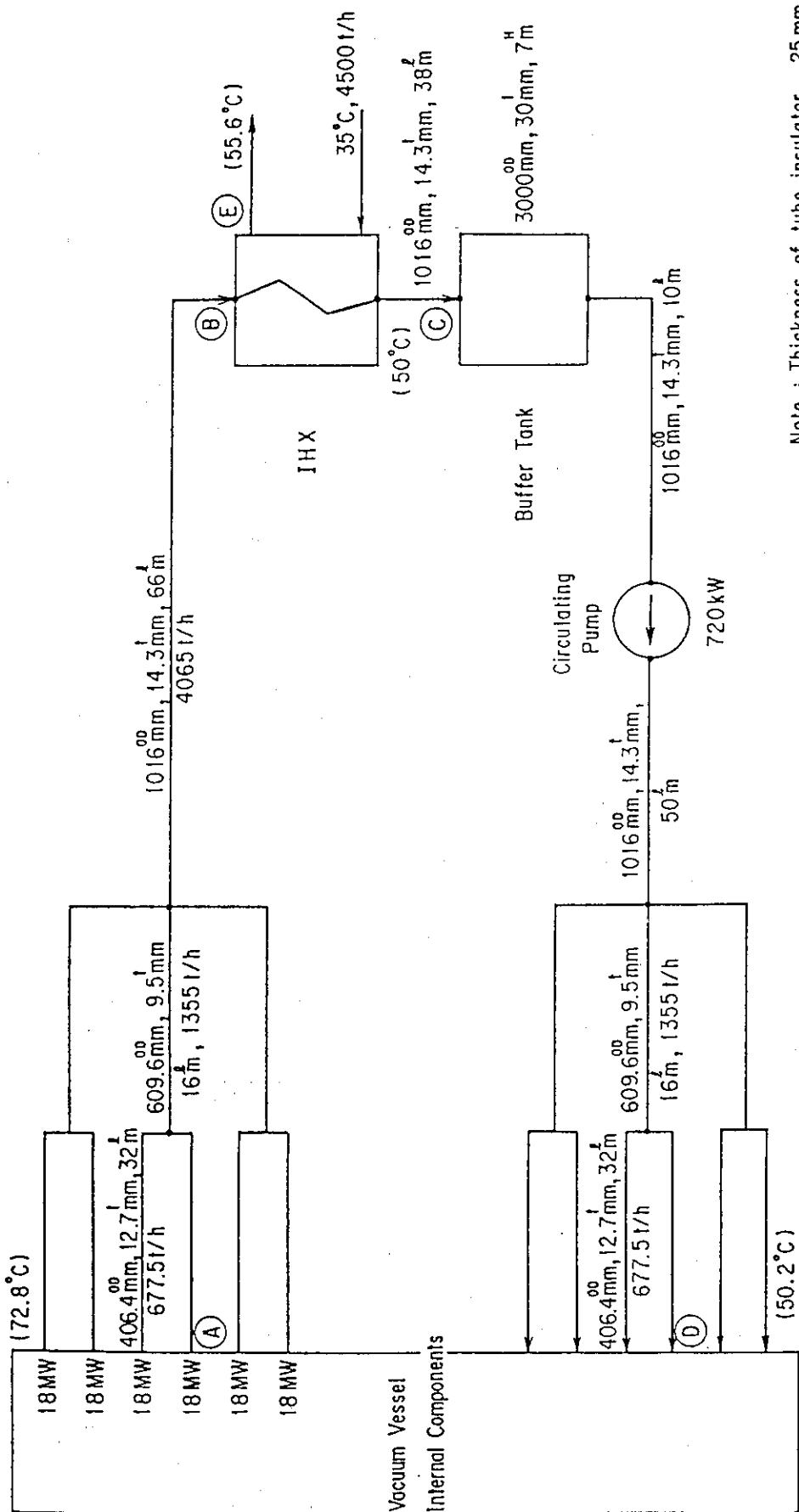
熱交換器入口での1次冷却材の温度変動は、炉出口から熱交換器までの配管の熱容量により若干緩和されるものの、その変動幅は炉出口での変動幅とあまり変わらず熱交換器の熱サイクルに対する健全性を評価する上で注意が必要である。

Fig. 7.5-3より、休止時間300秒の場合には、各部温度が初期の定常状態に復帰するまでに、休止時間後約1400秒の燃焼時間を要している。燃焼時間800秒の時点では温度は初期状態に復帰しておらず、これは燃焼時間/休止時間=800/300秒の運転を繰り返すことによって、炉入口/出口温度が初期の72.8/50°Cよりも低くなることを意味している。燃焼時間800秒の場合には、休止時間100秒でほぼ初期状態に復帰しており、この観点からは、休止時間を100秒以下とすることが望まれる。

Fig. 7.5-4に炉運転初期時における冷却系各部の温度応答を示す。本解析では、各部の初期温度は2次冷却材入口温度である35°Cとし、燃焼時間/休止時間は800/200秒と設定して解析した。本図より明らかなように、定常的な温度パターンは比較的短時間に形成され、2サイクル後にほぼ一定の温度パターンを冷却系各部で形成されることが明らかとなった。

以上のようなパルス応答解析の予備的検討から、冷却系各部における冷却材の温度変動巾は冷

却系の制御方法と密接に関連している。このため、被冷却機器および冷却系構成機器における冷却材の許容温度変動巾と冷却系の制御グレードとの関連を予め十分に把握し、今後の合理化／詳細化設計を進めて行く必要がある。



Note : Thickness of tube insulator 25 mm

Fig. 7.5-1 Analytical model of primary cooling circuit (A-system)

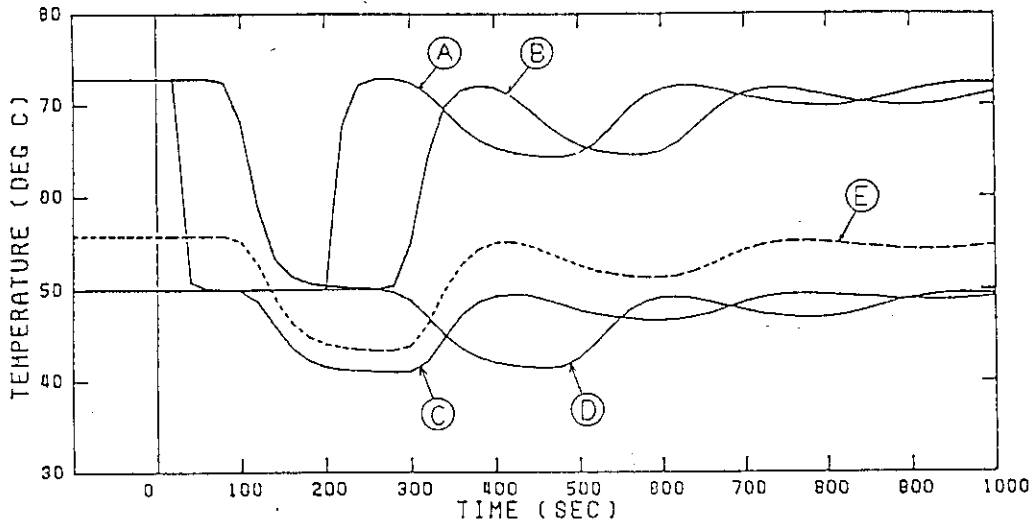


Fig. 7.5-2 Coolant temperature responses for burn/dwell = 800/200 sec.

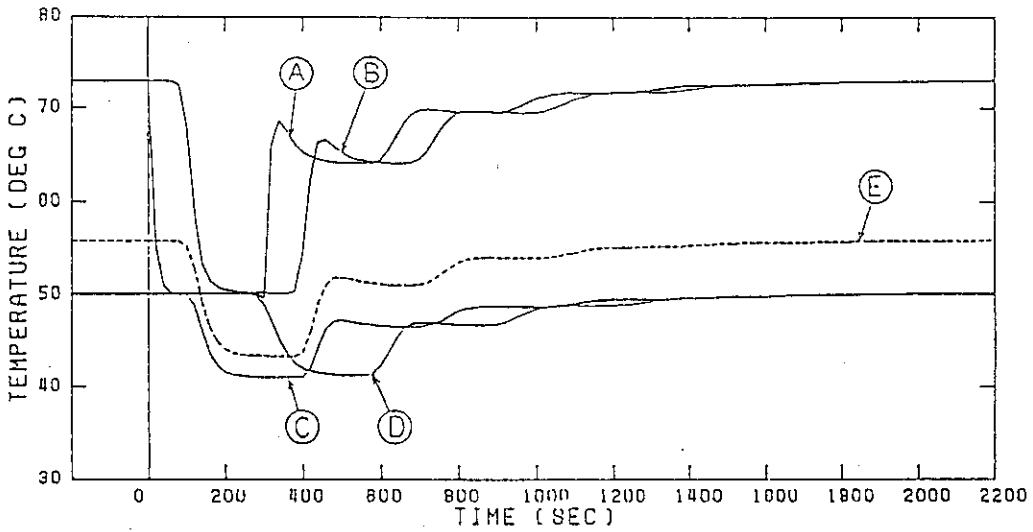


Fig. 7.5-3 Coolant temperature responses for burn/dwell = 2000/300 sec.

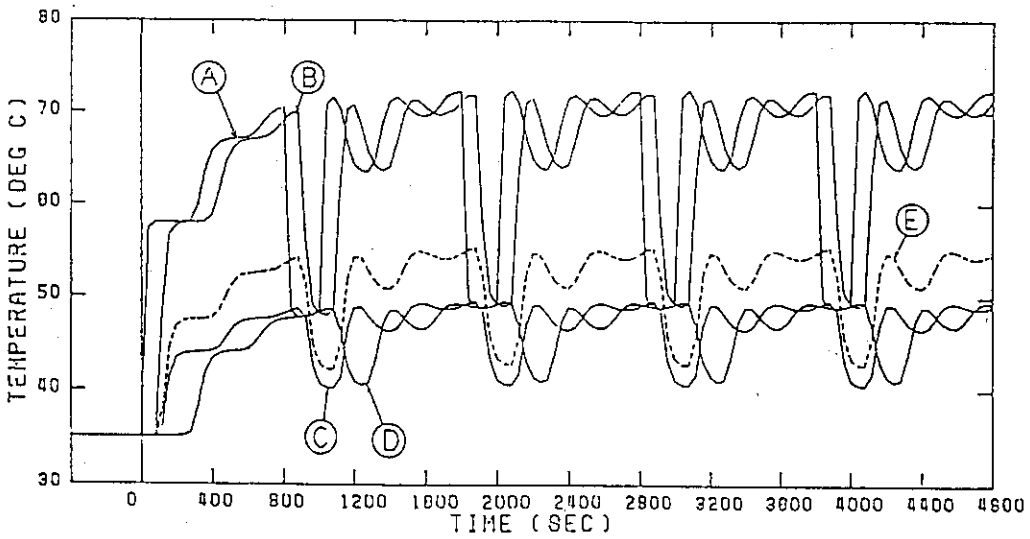


Fig. 7.5-4 Coolant temperature responses for burn/dwell = 800/200 sec.

## 7.6 冷却系の合理化指針

7.4 節において、冷却系主要機器の概略仕様について述べたが、これら仕様についても今後の合理化検討が必要な項目が抽出された。

本節では、こうした今後の冷却系に関する合理化の指針について、前年度までの成果もふまえ検討してみた。

### 1) 1次冷却材流量の低減化対策

1次冷却材の循環流量低減化方法として、被冷却機器での冷却材出入口温度差を大きくすることが冷却系設計の観点から最も有効な方法である。Fig. 7.6-1 に被冷却機器での冷却材出入口温度差を大きくした場合の循環流量の低減効果を示す。特に炉本体冷却系B系統の機器では冷却材出入口温度差が約10℃と極端に小さいため、B系統は3ループ構成としている。この出入口温度差を約30℃とした場合には、B系統は1ループ構成が可能となり、冷却系統が大巾に簡素化される。

### 2) 中間熱交換器の縮小化方策

中間熱交換器の縮小化の方法として、1次冷却材の出入口温度を高くし、1次冷却材と2次冷却材の温度差を大きくする方法が有望である。

Fig. 7.6-2 に炉本体冷却系A系統の中間熱交換器を対象とし、熱交換量を一定にした場合の1次冷却材の出入口温度と伝熱管長さの関係を示す。現設計では1次冷却材と2次冷却材の対数平均温度差は16℃であるが、1次冷却材の出入口温度を15℃昇温させると対数平均温度差は31℃となる。その結果、伝熱管長さは、約 $\frac{1}{2}$ まで低減することが明らかである。

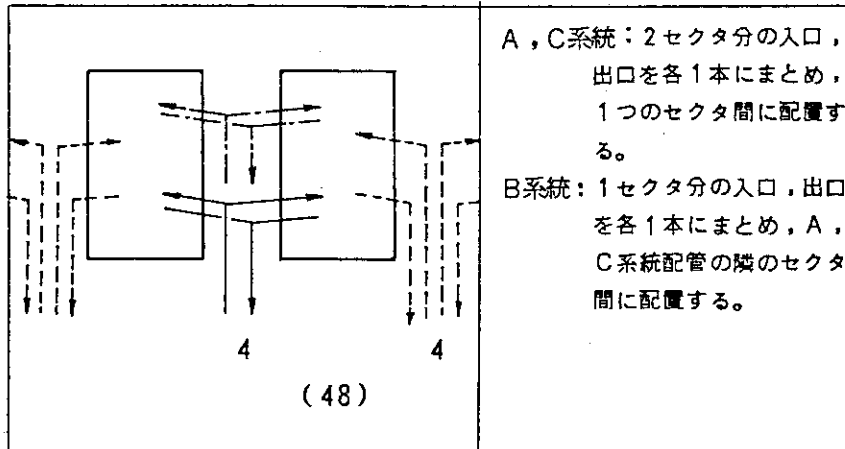
この1次冷却材の高温化は、1次系の設計圧力および設計温度が炉本体機器のベーキング時（ベーキング温度 150℃）を対象に設定されていることから、被冷却機器側で十分に許容されるものと予想される。

### 3) 炉室床貫通配管数の低減化

#### i) 3系統構成の場合

前年度の設計方針に基づき炉本体冷却系を3系統構成とした場合、炉室床貫通配管本数を低減する方法として、下記のような概念が考えられる。

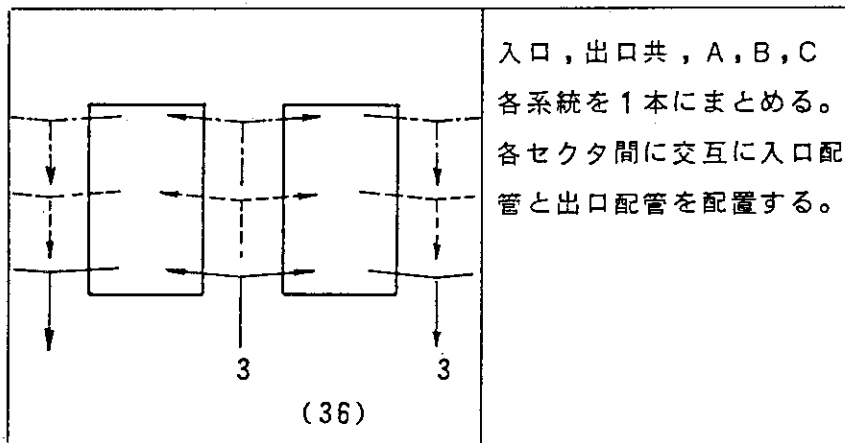
( '85 設計 )



A, C系統：2セクタ分の入口，  
出口を各1本にまとめ，  
1つのセクタ間に配置す  
る。  
B系統：1セクタ分の入口，出口  
を各1本にまとめ，A，  
C系統配管の隣のセクタ  
間に配置する。



(合理化案)



入口，出口共，A, B, C  
各系統を1本にまとめる。  
各セクタ間に交互に入口配  
管と出口配管を配置する。

本方式により，セクタ当りの炉室床貫通配管本数は，4本から3本に低減できる。

しかしながら，本方式はトラス全体を一括して冷却系統を制御する必要があるため，冷却系の系統制御が複雑になるものと予想される。今後，本方式の制御特性を把握し，採用が可能か否かを検討する必要がある。

ii) 1系統構成の場合

炉本体冷却系を1系統構成とした場合，炉室床貫通配管本数は基本的にはセクタ当たり1本とすることができる。しかしながら本案は，冷却系内の放射能管理および事故時対策など新たな課題があり，採用には十分な検討を要する。

4) 冷却塔補給水量の低減化及び確保対策

i) 補給水量の確保対策

炉本体冷却系の冷却塔では，約  $900 \text{ m}^3/\text{hr}$  (濃縮係数 = 4 の場合) の割合で補給水が必要となる。一方，那珂サイトにおける取水量は，現在  $5,000 \text{ ton/day}$  であり，FER 始動時までに  $15,000 \text{ ton/day}$  ( $625 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) まで増量するよう計画している。この増量分 ( $10,000 \text{ ton/day} = 417 \text{ ton/hr}$ ) を炉本体冷却系冷却塔の補給水に適用しても不十分である。この

ため、FERの運転計画に対応した容量の受水槽を設けることが有効となる。

Fig. 7.6 - 3にFERの連続運転時間をパラメータとして、この連続運転の維持に必要な受水槽容量を示す。

ii) 補給水量の低減対策

補給水量の低減対策として、半乾式冷却塔を用いる方法がある。この半乾式冷却塔の特性をFig. 7.6-4に示す。本図より明らかなように、外気乾球温度 $8^{\circ}\text{C}$ 以下の場合、スプレー水が不必要であり補給水を必要としない。



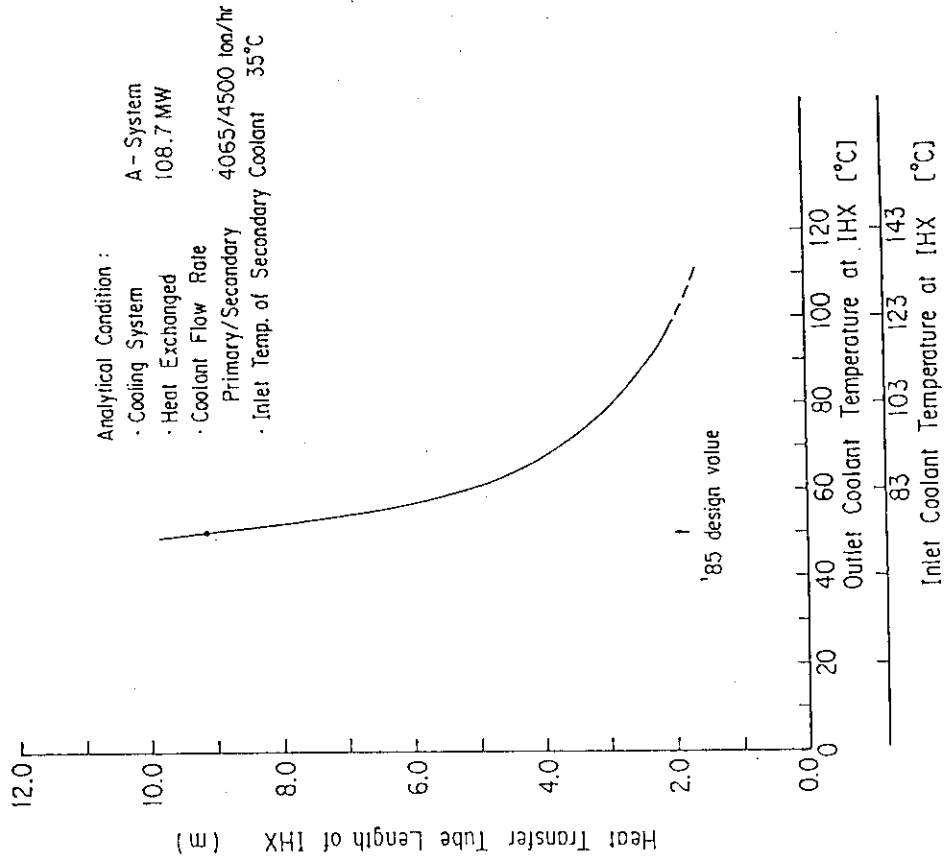


Fig. 7.6-2 Heat transfer tube length of IHX

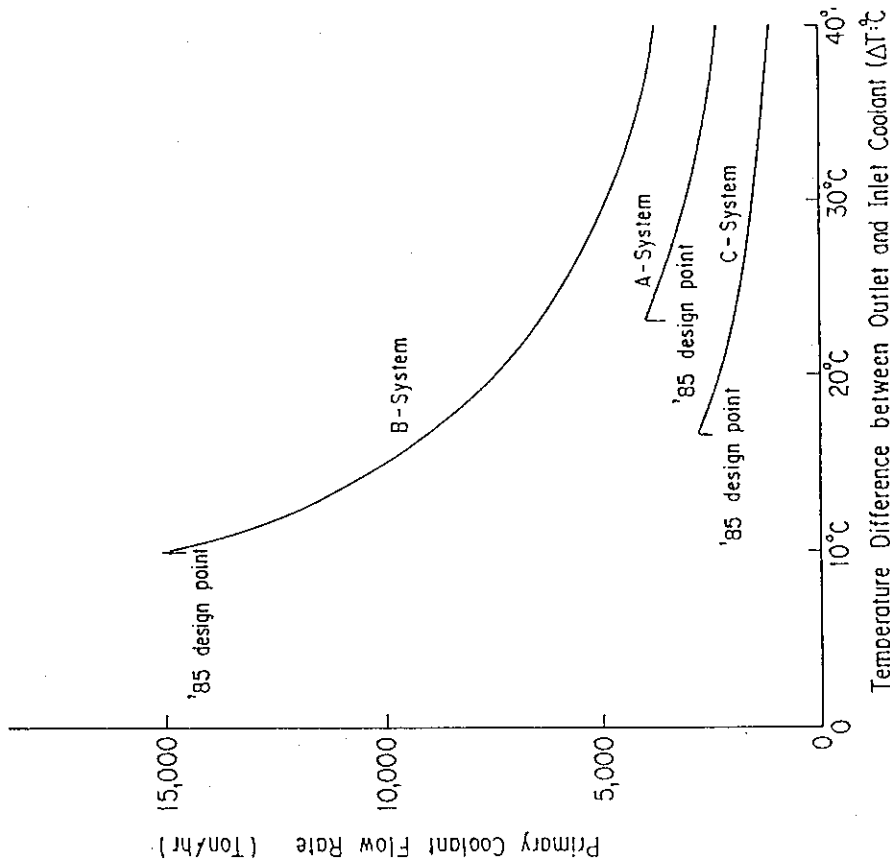


Fig. 7.6-1 Required flow rate of primary coolant for vacuum vessel internal component

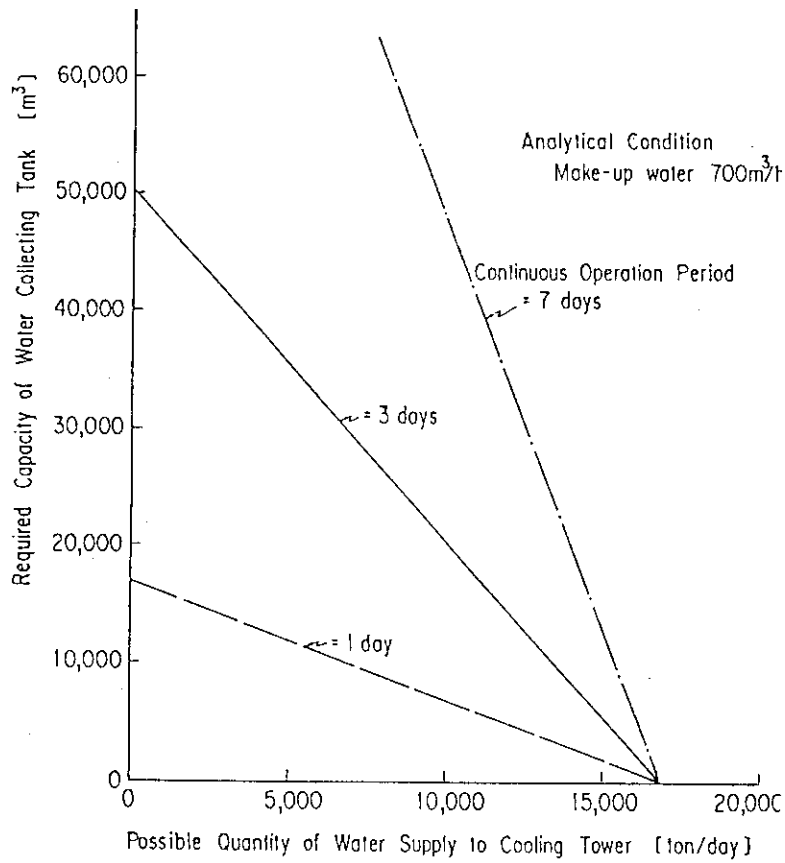


Fig. 7.6-3 Required capacity of water collecting tank for continuous operation

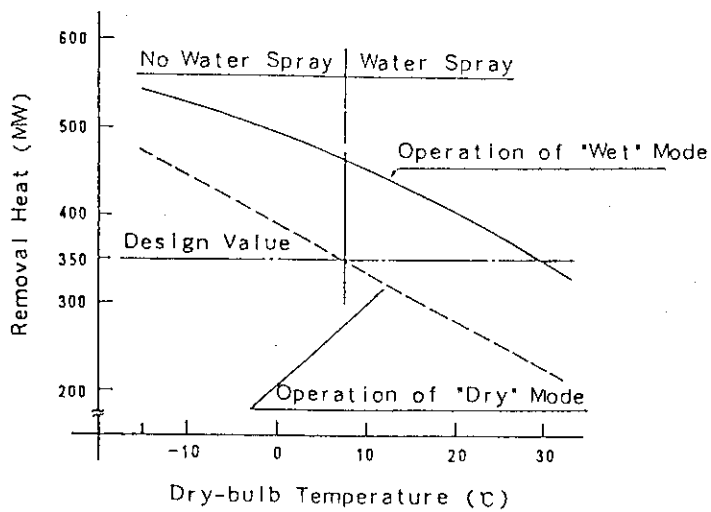


Fig. 7.6-4 Cooling performance of semi-wet cooling tower

## 7.7 ベーキングシステム

### 7.7.1 ベーキングの目的

FERにおいては、1) 炉本体の乾燥、2) 運転前炉内真空度達成 ( $1 \times 10^{-8}$  Torr) や3) 分解修理前炉壁吸蔵トリチウムの追出しといったことを行うために、炉本体を加熱する操作（ベーキング）が必要とされている。また、加熱温度は、真空度達成の条件の検討より、 $150^\circ\text{C}$ 程度とされている。<sup>4)</sup>

こうした、ベーキングのための加熱方法としては、電気ヒーターにより炉本体を直接加熱する方法や、冷却チャンネルに加熱ガスを流し加熱する方法等があるが、ここでは、1次冷却水として用いられている循環水を加熱し、炉本体に供給する方法について、ACS炉を代表例として検討してみる。

### 7.7.2 循環水昇温範囲

炉本体を  $150^\circ\text{C}$  まで昇温するための1次冷却水の加熱範囲としては、次の2つのケースが考えられる。

CASE-1：炉本体と1次冷却水主配管を縁切りし、炉本体近傍の循環水のみ昇温

CASE-2：1次冷却水循環ラインをそのまま使い、一部加熱器用のバイパスラインを設ける。

各々の概念について、Fig. 7.7-1に示す。

### 7.7.3 加熱容量

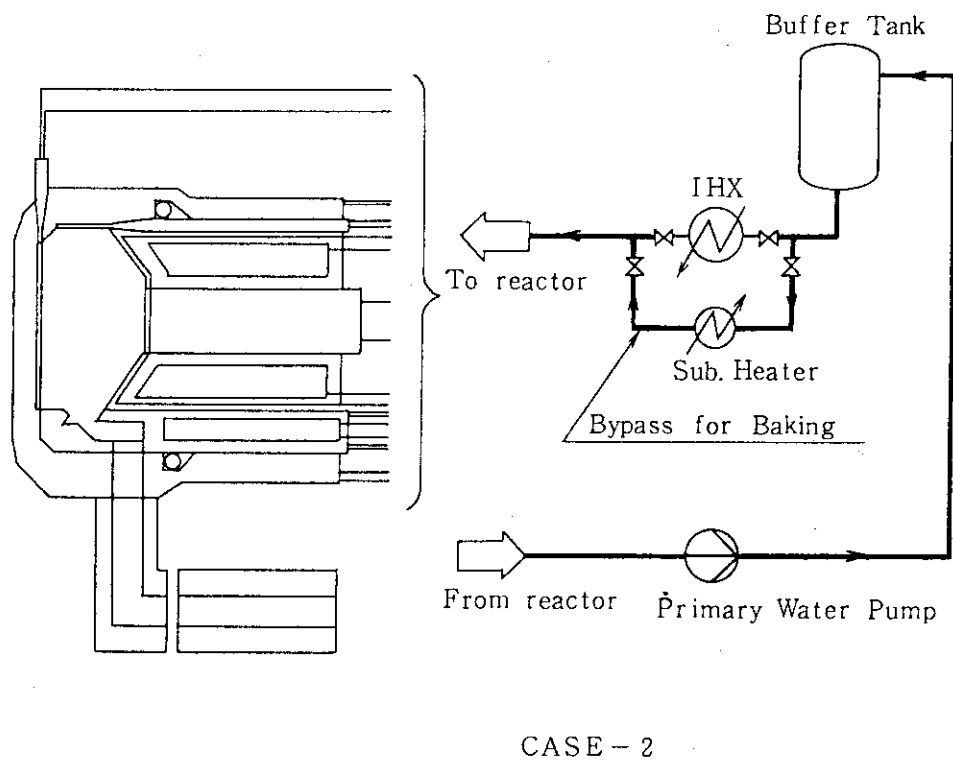
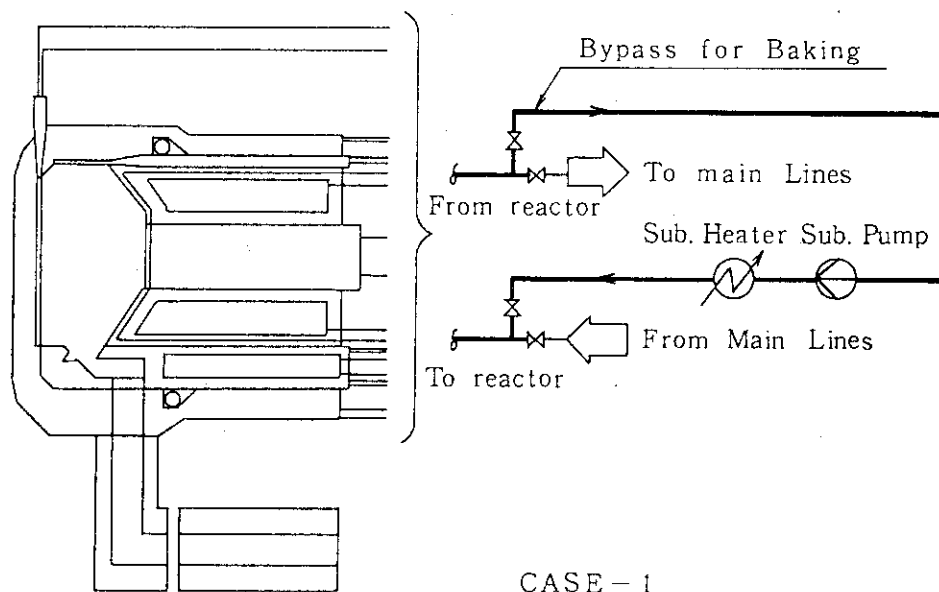
炉本体をベーキングするための所要加熱容量について、算出してみる。

#### 1) 被加熱体量

加熱の対象となる1次冷却水量と機器（炉本体、配管等）重量をTable 7.7-1に示す。

Table 7.7-1 Heating Mass for Baking

	CASE-1	CASE-2
冷却水量	約 $350 \text{ m}^3$	約 $2000 \text{ m}^3$
被加熱機器重量 (接続配管含む)	S.S. 約 $7650 \text{ t}$	S.S. 約 $8250 \text{ t}$
	W 1.2 t	W 1.2 t
	Cu 24 t	Cu 24 t



\*: — Heating up Lines

Fig. 7.7-1 Scope of heating up lines for baking

## 7.7.4 所要熱量

## 1) 昇温熱量

Table 7.7-1 に示す被加熱体を150°Cまで昇温するために必要な熱量について、横軸に被加熱体が150°Cまで昇温されるのに必要とする時間、縦軸に昇温時に定量的に加える熱量をとり Fig. 7.7-2 に示す。

ここで、被加熱体の比熱は各々ステンレス鋼 0.11 kcal/°C kg, タングステン 0.033 kcal/°C kg, 銅 0.093 kcal/°C kg とした。

## 2) 恒温熱量

被加熱体を150°Cまで昇温した後、ベーキングを行うために温度を一定に保つ必要がある。ベーキングを行う間に失われる熱は、主として真空容器からの放散熱と真空容器外の機器、配管等からの放散熱が考えられ、また得られる熱としては、炉運転後に生ずる炉本体の崩壊熱が考えられる。

ここで、ベーキング中は、真空容器断熱層は真空を保ち、また炉本体支持脚からの熱伝達は少ないとすると、真空容器からの放散熱は主として熱輻射によるものと考えられる。また、真空容器外の機器、配管等は保温材に覆われているものとする、ベーキング中に温度を一定に保つために必要な熱量Qは、下式により与えられる。

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3$$

$$Q_1 = 4.88 A_1 \varepsilon_1 \left\{ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right\}$$

$$Q_2 = \lambda A_2 \Delta t / L$$

$Q_1$  : 真空容器よりの輻射熱 [ kcal/h ]

$Q_2$  : 真空容器外の機器・配管の放散熱量 [ kcal/h ]

$Q_3$  : 炉本体の崩壊熱 [ kcal/h ]

$A_1$  : 真空容器表面積 [ m<sup>2</sup> ]

$\varepsilon_1$  : 真空容器表面の輻射率 [ - ]

$T_1$  : 真空容器内側表面温度 [ K ]

$T_2$  : 真空容器外側表面温度 [ K ]

$\lambda$  : 保温材の熱伝導率 [ kcal/m・h・°C ]

$A_2$  : 真空容器外の機器、配管の対数平均伝熱面積 [ m<sup>2</sup> ]

$\Delta t$  : 保温材内外面の温度差 [ °C ]

$L$  : 保温材厚さ [ m ]

循環水の加熱範囲によって分けた CASE-1, CASE-2 の各々の場合について算出してみる。

真空容器よりの輻射熱  $Q_1$  については、真空容器内を150°C、真空容器外を20°Cとした。真空容器外の機器・配管の放散熱量  $Q_2$  については、表面を保温材で覆うものとした。

また、炉本体の崩壊熱  $Q_3$  は、炉運転後のみ発生し、炉停止1日後の炉心構成機器について下記値が報告されている。<sup>42)</sup>

第1壁	0.024 W/cc
ダイバータ	
アーマー (タングステン)	0.23 W/cc
プレート (銅)	0.028 W/cc

上記数値より推算して、炉停止1日後の崩壊熱量は、約0.3 MW程度となる。

以上より、各々の場合についてのベーキング恒温時所要熱量について、Table 7.7-2に示す。

Table 7.7-2 Required Heat Duty for Baking

	炉運転前ベーキング時	炉分解修理前ベーキング時
CASE-1	0.44 MW	0.14 MW
CASE-2	1.4 MW	1.1 MW

### 7.7.5 加熱方式比較

#### 1) 循環水昇温範囲

循環水昇温範囲について、7.7.2項に示す各々の場合についての比較をTable 7.7-3に示す。

同表より、ベーキング用に水循環ポンプを別に炉本体近傍に設置可能ならば、炉本体近傍循環水のみ昇温するCASE-1の方式の方が加熱装置容量が小さくてすみ有利である。しかし、設置スペース・方法等についてさらに検討を要するものと考えられる。

#### 2) 加熱装置

循環水を150°Cまで昇温するための加熱装置としては、蒸気ボイラーや電気式ヒーター等が考えられる。

加熱容量は、Fig. 7.7-2に示すように昇温時間により決るが、3~10MW程度は必要と思われる。

電気式ヒーターの場合、1) 製作限界、2) 電力供給の安定性について検討する必要がある。

1) 項について、ヘリウムガスの大型加熱装置として4.7MW規模のものが検討されているが、汎用品の分野ではない。

蒸気ボイラーの場合、3~10MW程度の加熱には、汎用ボイラー規模の装置で十分対応可能であり、設置スペースや供給系熱応力、放散熱等の検討は必要となるが、基本的には加熱装置として対応可能な方法と考えられる。

#### 3) 昇温時間

ベーキングのために循環水を昇温するのに要する時間は、炉の運転効率の点からは短い方が好ましいが、被加熱体の温度変化が急激になりすぎて、加熱部と未加熱部間の熱応力が過大となりすぎぬようにしなければならない。

こうしたことを避けるために、昇温速度は最大1時間10°Cを超えない範囲に設定すべきと考えられる。

#### 4) 恒温時間

ベーキング恒温時間は、7日間が必要とされており<sup>42)</sup>、本システムでも同報告に従うものとする。

Table 7.7 - 3 Comparison of Heating Area for Baking

	CASE - 1	CASE - 2
方 式	炉本体近傍循環水のみ昇温	1次冷却水系全体を昇温
必要機器	水循環ポンプ 加熱器	加熱器 (水循環ポンプは冷却水用と兼用)
ベーキング温度	150℃	150℃
被加熱体	容量小	容量大
加熱装置容量	小	大
長 所	CASE-2に比べ被加熱体熱容量が小さい為、加熱器容量の小さいものを選定出来る。	1次冷却水循環用ポンプを流用出来る。
欠 点	水循環用ポンプが新たに必要	CASE-1に比べ被加熱体熱容量が大きい為、加熱器容量の大きいものが必要となる。

## 5) ベーキングパターン

ベーキングは、初期運転時前、分解修理前トリチウム放出作業時、分解修理後再立上げ時の3つのパターンが考えられる。初期運転時前、分解修理後再立上げ時には、主として真空度達成を目的とし、分解修理前には、炉本体壁からのトリチウム放散を目的としてベーキングが行われる。これらの昇温のためのパターンの概念をFig. 7.7-3に示す。また、炉本体と加温水との温度ギャップ等については、別途検討する必要がある。

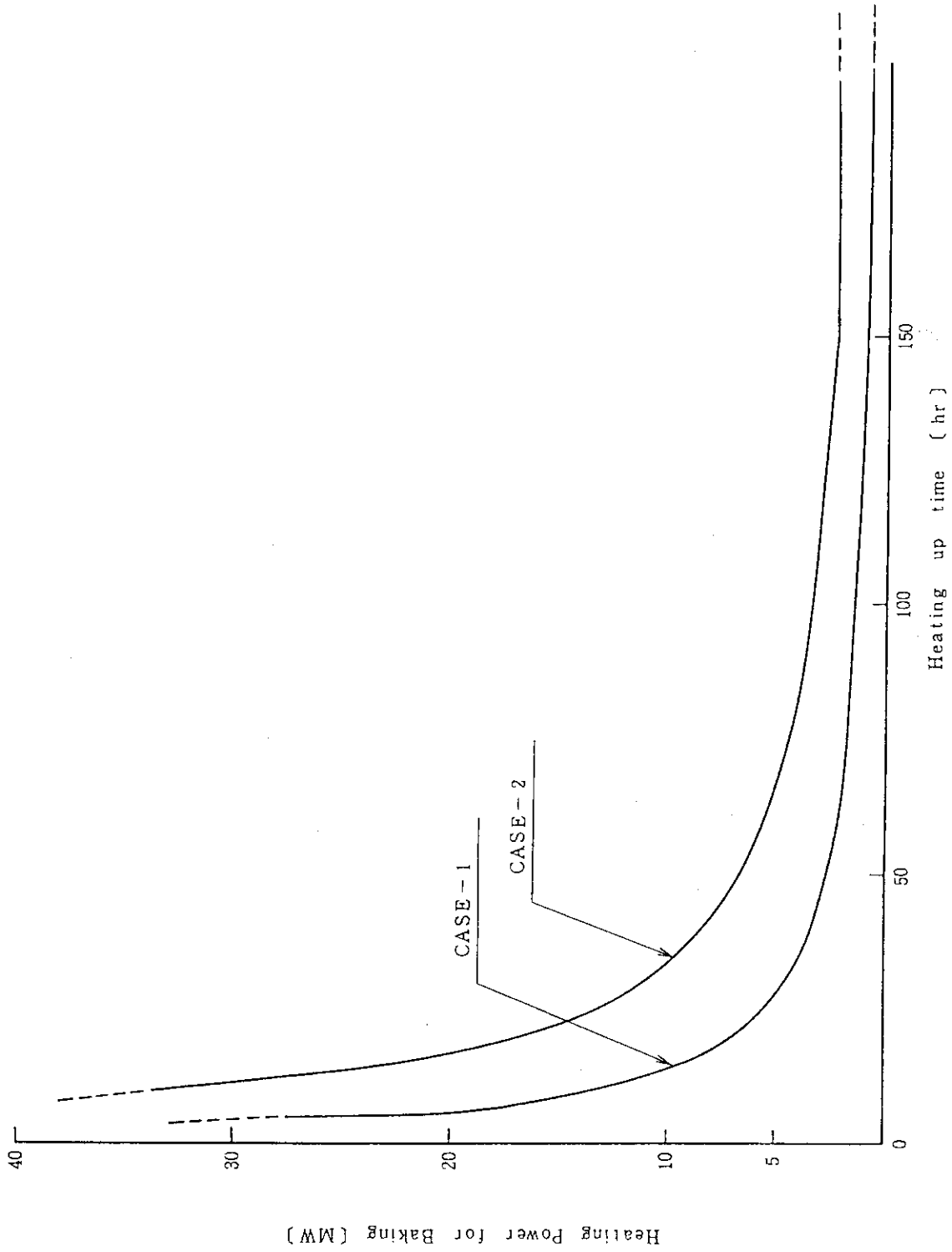


Fig. 7.7-2 Heating power related with heating up time for baking



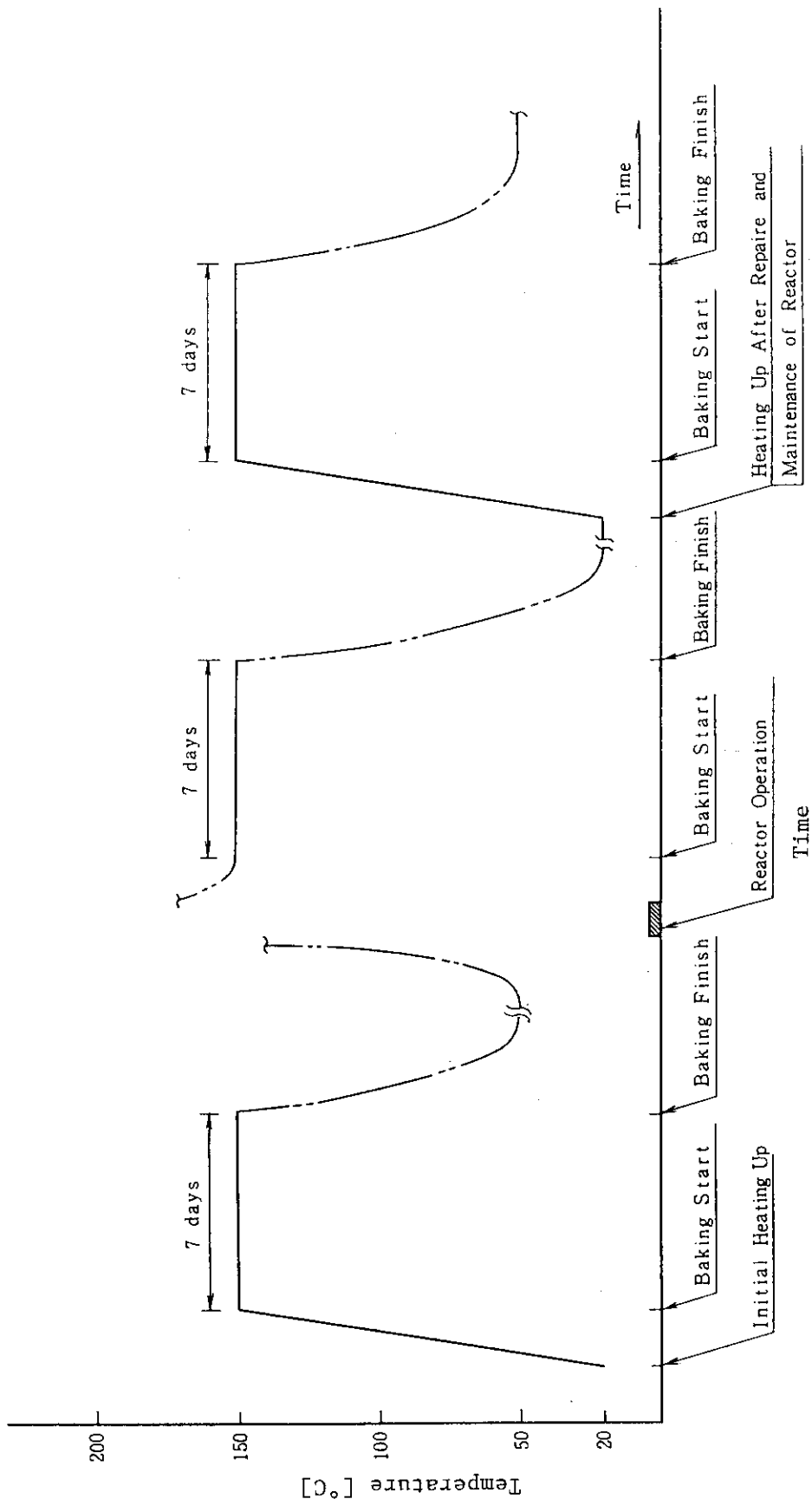


Fig. 7.7-3 Baking pattern of FER

## 8. 廃棄物処理貯蔵システムの設計検討

### 8.1 概要

廃棄物処理貯蔵システムは、FERの運転に伴い発生する放射性廃棄物を集合して処理し、安定に貯蔵保管するものである。本システムにより、FERから周辺環境への放射性物質の排出量を極力低減化する。

廃棄物処理貯蔵システムは廃棄物処理設備と廃棄物貯蔵設備に大別され、廃棄物処理設備は液体廃棄物処理設備と固体廃棄物処理設備から構成される。この廃棄物処理貯蔵システムの全体系統計画図をFig. 8.1-1に示す。

放射性廃棄物は、廃棄物の種類に応じて下記のように処理される。

- i) FERの各システムから発生する高レベルのトリチウム含有廃液は、セメント固化体とした後に安定に一時保管される。
- ii) トリチウムで汚染されている雑固体廃棄物は、減容処理した後ドラム詰めし、三重容器構造体として一時保管される。
- iii) トリチウムおよび $\gamma$ 線で汚染されている雑固体廃棄物は、コンクリート遮蔽体付きのドラム缶に収納し、二重容器構造体として一時保管される。
- iv) 大型固体廃棄物は、フレーム型コンテナに収納し、水プール内に一時保管される。

### 8.2 液体廃棄物処理設備

#### 8.2.1 概要

本設備は、FERから発生する各種トリチウム含有廃液のうち、高レベルの廃液を固化体として安全に処理・処分するものである。

発生するトリチウム含有廃液は、トリチウム濃度に応じて、低レベル貯蔵タンク、中レベル貯蔵タンク、および高レベル貯蔵タンクに一時保管されている。

低レベル貯蔵タンク内のトリチウム含有廃液は、必要に応じて希釈され、施設外に放出される。中レベル貯蔵タンク内のトリチウム含有廃液は、廃液濃縮設備等により低レベル廃液と高レベル廃液とに分離するよう計画する。このため、本液体廃棄物処理設備では、高レベル廃液を安定な固化体とするよう計画した。

#### 8.2.2 設計上の基本方針

FERの各システムから発生する廃液には、i) 機器ドレンなどの低電導度廃液系、ii) 1次冷却系漏洩水ドレンなどの高電導度廃液系、iii) 洗濯廃液系、及びiv) シャワードレン、などが存在する。これらの基本的な処理手法をFig. 8.2-1に示す。このうち、濃縮廃液貯蔵タンクへ移送されるトリチウム含有廃液の最終処理として、以下のような方針を設定した。

- i) 廃液の固化方式として、技術が確立していること、固化体の機械的強度が高いこと、および耐放射線性に優れていることから、セメント固化方式を採用する。又、このセメント固化剤として、最も一般的なポータンドセメントを用いる。
- ii) 固化体からのトリチウム水の漏出を極力低減させるため、ポータンドセメントに水吸着剤であるバーミキュライトを添加・混合する。
- iii) 固化用ドラム缶へのトリチウム廃液の移送は、操作性が良くかつ迅速に移送できる真空移送方式を採用する。
- iv) 作業環境および炉周辺環境へのトリチウム漏洩低減対策として、一連の廃液固化作業はグローブボックス内で実施するよう計画する。
- v) 固化済のドラム缶は大型ドラム缶である第2容器に収納し、その空隙部にはアスファルトを充填して安定な固化体とする。

上記の基本方針に基づく本設備の系統計画図をFig. 8.2 - 2 に示す。

### 8.2.3 系統機能及び構成

本液体廃棄物処理設備は、廃液計量槽、固体化ドラム缶、真空ポンプ、ドレンポンプ、除染水供給ポンプ等から構成される。このような主要機器から構成される本設備の系統図をFig. 8.2 - 3 に示す。この系統概要は次の通りである。

ポータンドセメントとバーミキュライトの混合物を予め所定量充填した固体化ドラム缶は、グローブボックスに装着される。固体化ドラム缶に廃液を注入する注入管を設置した後、真空ポンプにより固体化ドラム缶および注入管を所定の真空度まで真空排気される。真空排気後、弁操作により廃液計量槽内の一定量のトリチウム含有廃液を固体化ドラム缶内に移送し、吸着・固化される。吸着・固化の終了した固体化ドラム缶は蓋締めし、グローブボックス外へ搬出する。一連の固化作業が終了した後、グローブボックス内の各装置は必要に応じてドレントank内の洗浄水により洗浄処理される。

本設備で固化された固体化ドラム缶は、後述の固体廃棄物処理設備へ移送される。ここで、固体化ドラム缶は第2容器である200ℓドラム缶に収納し、空隙部にアスファルトを充填してさらに安定化される。

### 8.2.4 系統仕様

以下に本液体廃棄物処理設備の系統仕様を示す。

- i) 廃液の種類           トリチウム含有水
- ii) 廃液の濃度       約 300  $\mu\text{Ci}/\text{cc} - \text{H}_2\text{O}$  以上
- iii) 固化方式         セメント固化方式
- iv) 添加吸着剤       バーミキュライト
- v) 固体化ドラム缶   70 ℓ (ポータンドセメント 50 ℓ/缶, バーミキュライト 10 ℓ/缶)
- vi) 廃液注入方式    真空注入方式
- vii) 処理能力        5 缶/day 以上
- viii) 固化廃液量    40 ℓ/缶

## 8.2.5 機器設計

前記の系統設計に基づき、本液体廃棄物処理設備の機器設計を実施した。以下に本処理設備の主要機器の主要目を示す。

## a) 廃液計量槽 (Fig. 8.2 - 4 参照)

- i) 型 式 : 縦型円筒式
- ii) 容 量 : 40 ℓ
- iii) 大 き さ : 318.5 mm<sup>OD</sup> × 600 mm<sup>L</sup>
- iv) 材 質 : SUS 304

## b) 固体化ドラム缶

- i) 型 式 : 廃棄物用ドラム缶
- ii) 大 き さ : 395 mm<sup>OD</sup> × 620 mm<sup>H</sup>
- iii) 充 填 材 : (ポルトランドセメント) 50 ℓ  
(バーミキュライト) 10 ℓ
- iv) 材 質 : SS 41

## c) 真空ポンプ

- i) 型 式 : 2重ベローズシールポンプ
- ii) 排 気 速 度 : 80 ℓ/min at 760 Torr
- iii) 到 達 圧 力 : 1 Torr
- iv) ポンプ大きさ : 650 mm<sup>L</sup> × 500 mm<sup>W</sup> × 530 mm<sup>H</sup>

## d) ドレンタンク (Fig. 8.2 - 5 参照)

- i) 型 式 : 縦型円筒式
- ii) 容 量 : 40 ℓ
- iii) 大 き さ : 355.6 mm<sup>OD</sup> × 740 mm<sup>H</sup>
- iv) 材 質 : SUS 304

## e) 除染水供給ポンプ

- i) 型 式 : 自吸式
- ii) 流 量 : 20 ℓ/min
- iii) 揚 程 : 10 m

## f) ドレンポンプ

- i) 型 式 : ダイアフラム型
- ii) 流 量 : 3 ℓ/min
- iii) 揚 程 : 20 m

## g) グローブボックス (Fig. 8.2 - 6 参照)

- i) 型 式 : 箱型両面操作式
- ii) 雰 囲 気 ガ ス : 乾燥空気 (-40 mmAq)
- iii) 容 積 : 1.56 m<sup>3</sup>
- iv) 主 要 材 質 : SUS 304

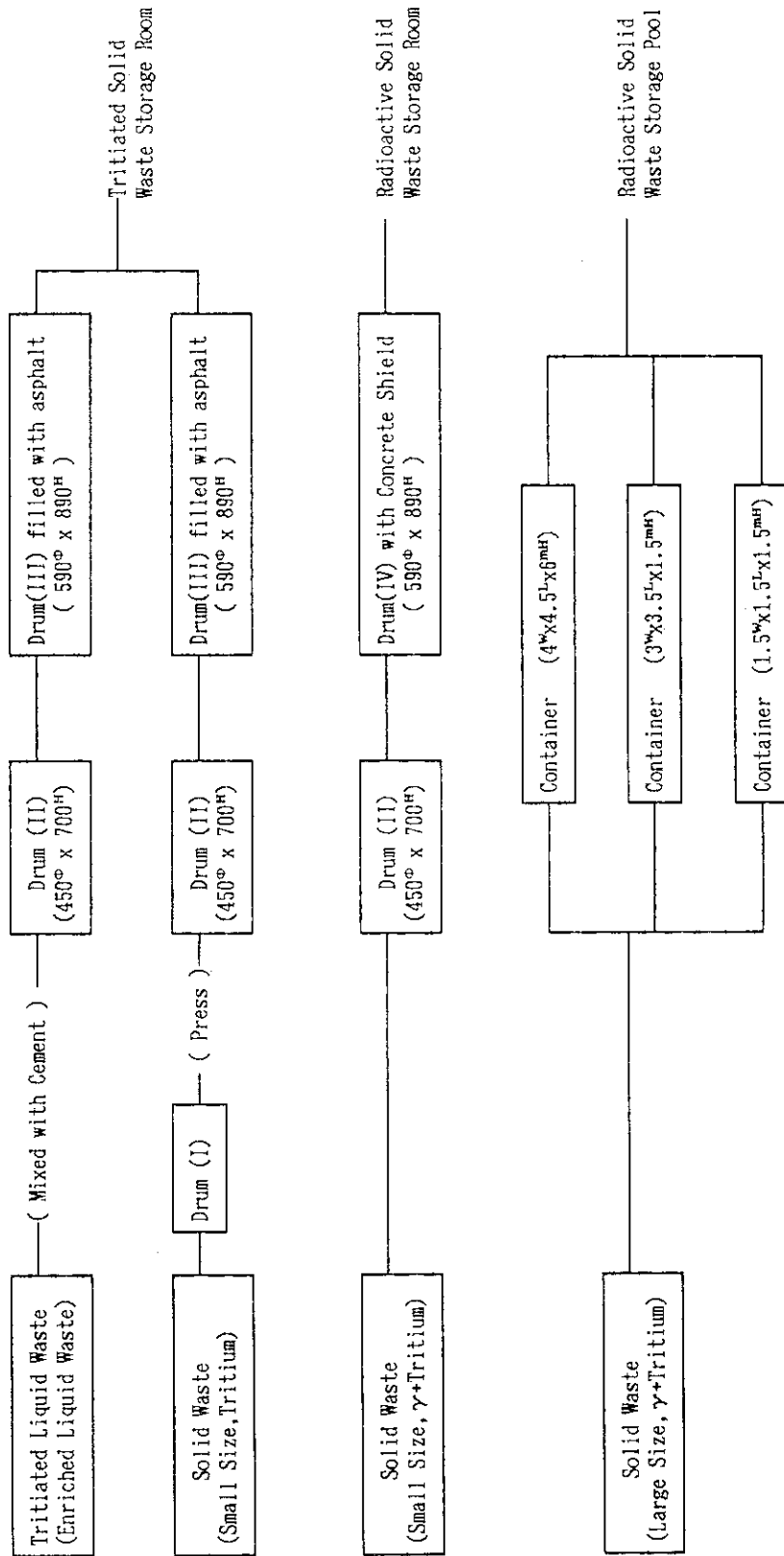


Fig. 8.1-1 Flow diagram of rad-waste treatment and storage system

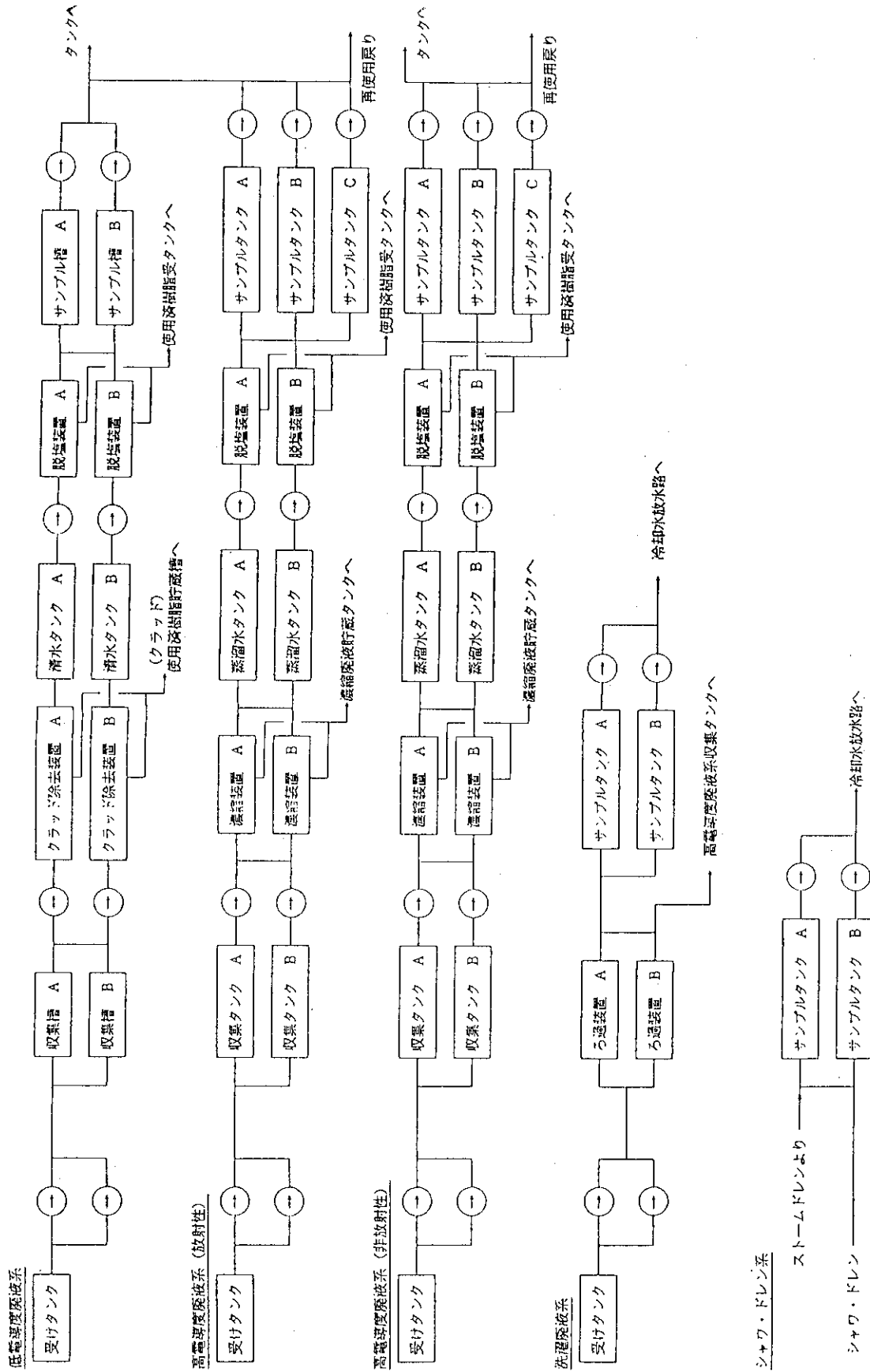


Fig. 8.2-1 Flow diagram of liquid-waste treatment system

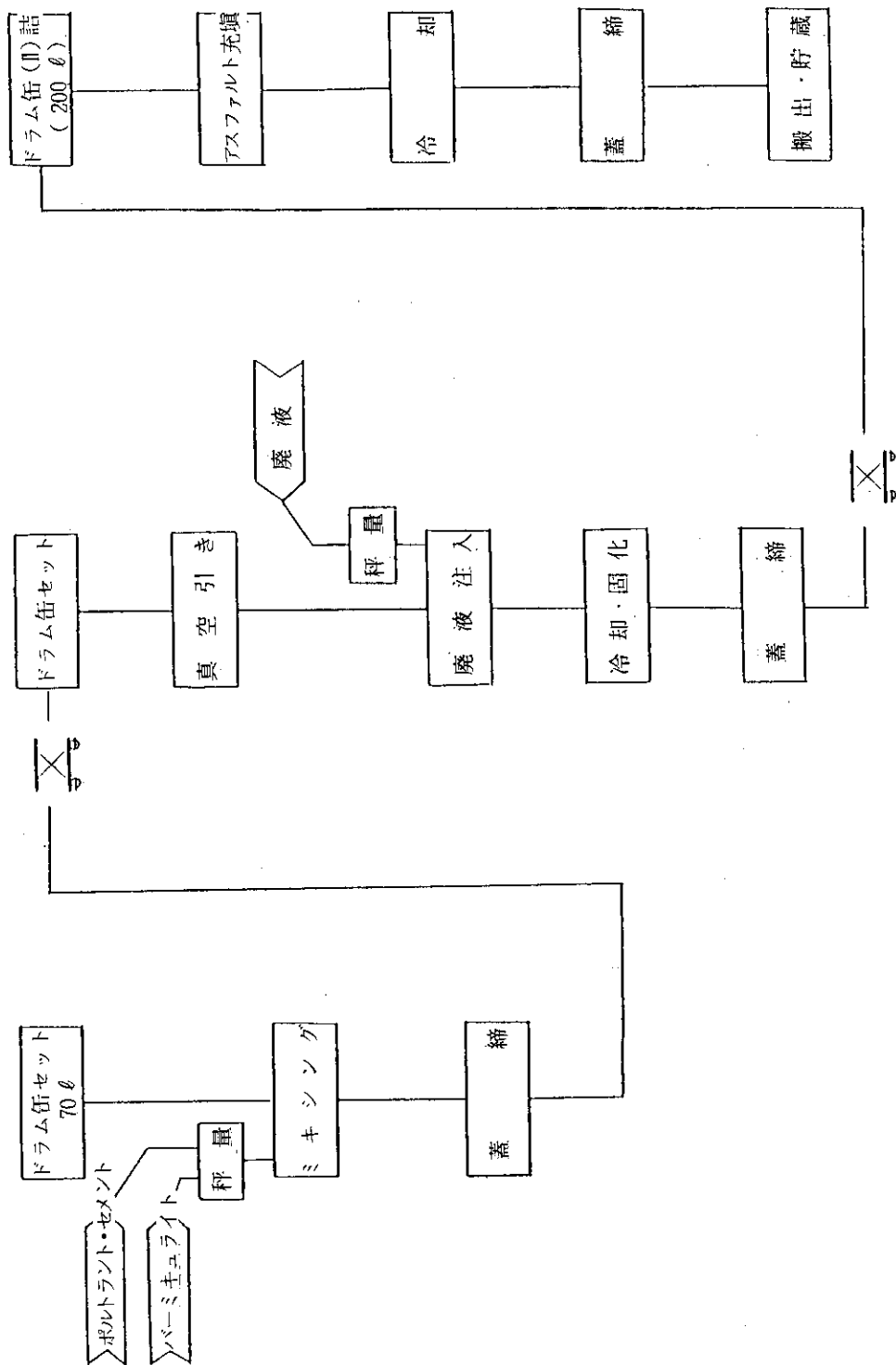


Fig. 8.2-2 Basic flow diagram of solidification system for tritiated liquid waste

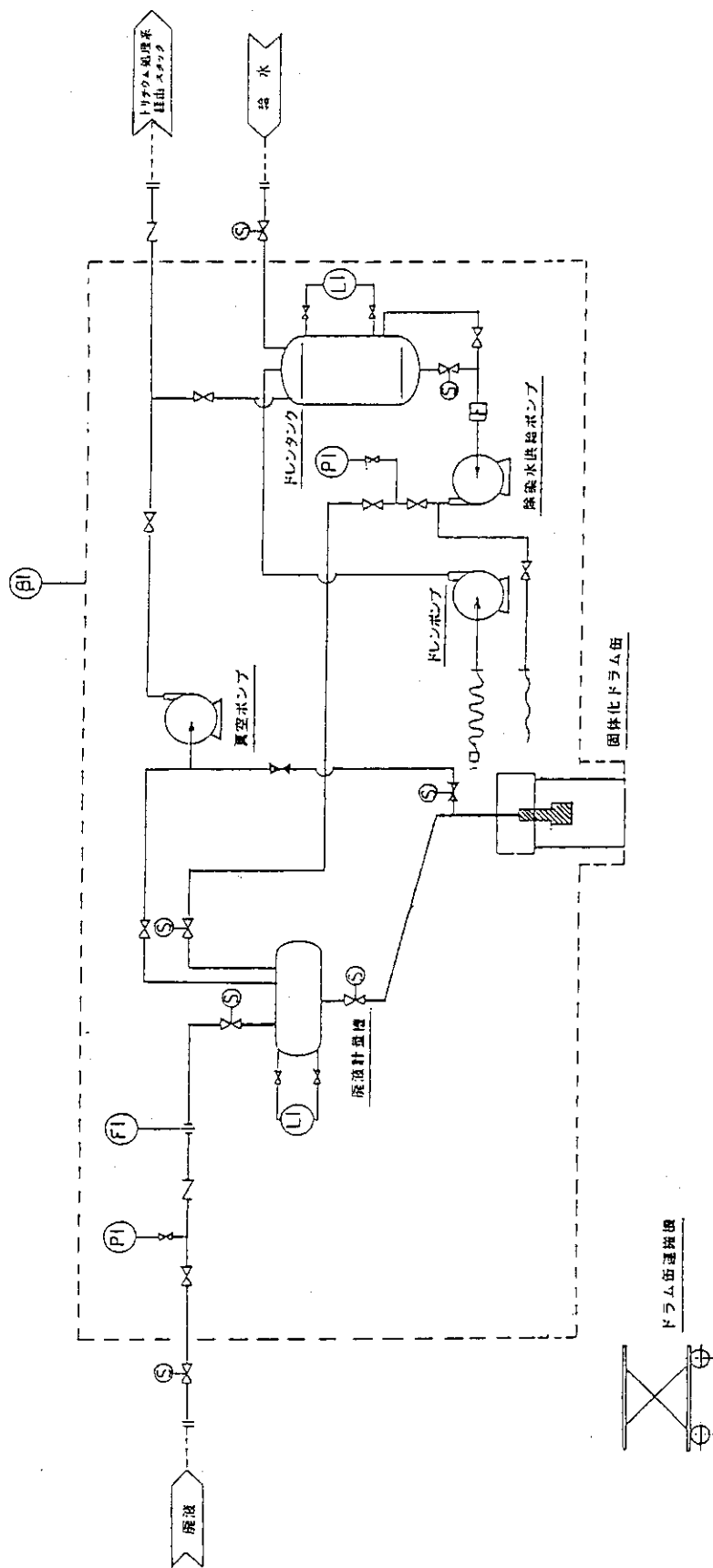
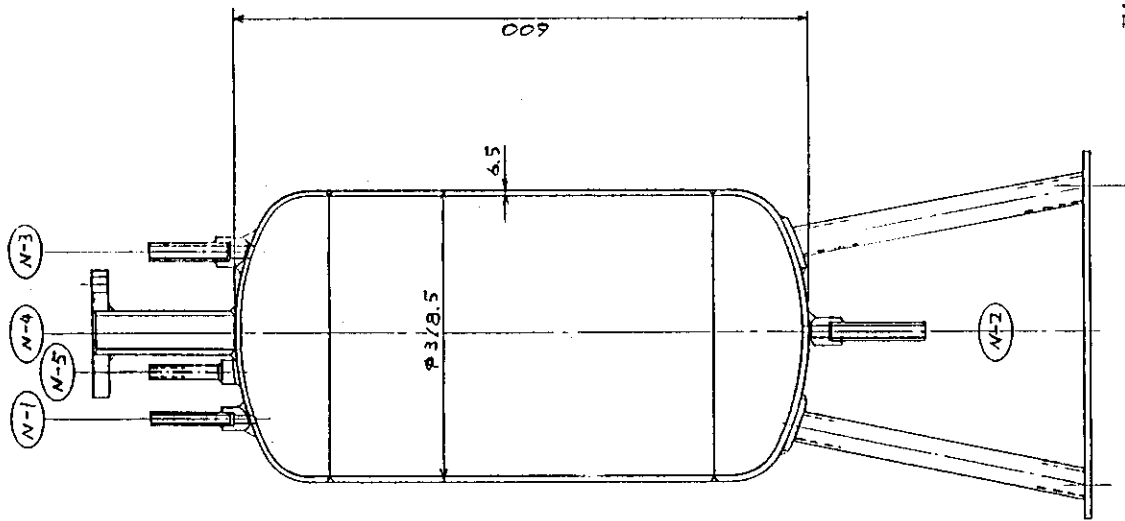


Fig. 8.2-3 P & ID of solidification system for tritiated liquid waste





番号	名称	口径
N-1	入口ノズル	8A
N-2	出口ノズル	15A
N-3	除染水ノズル	15A
N-4	液面計ノズル	40A
N-5	ベントノズル	15A

Fig. 8.2-4 Measuring tank for tritiated liquid waste

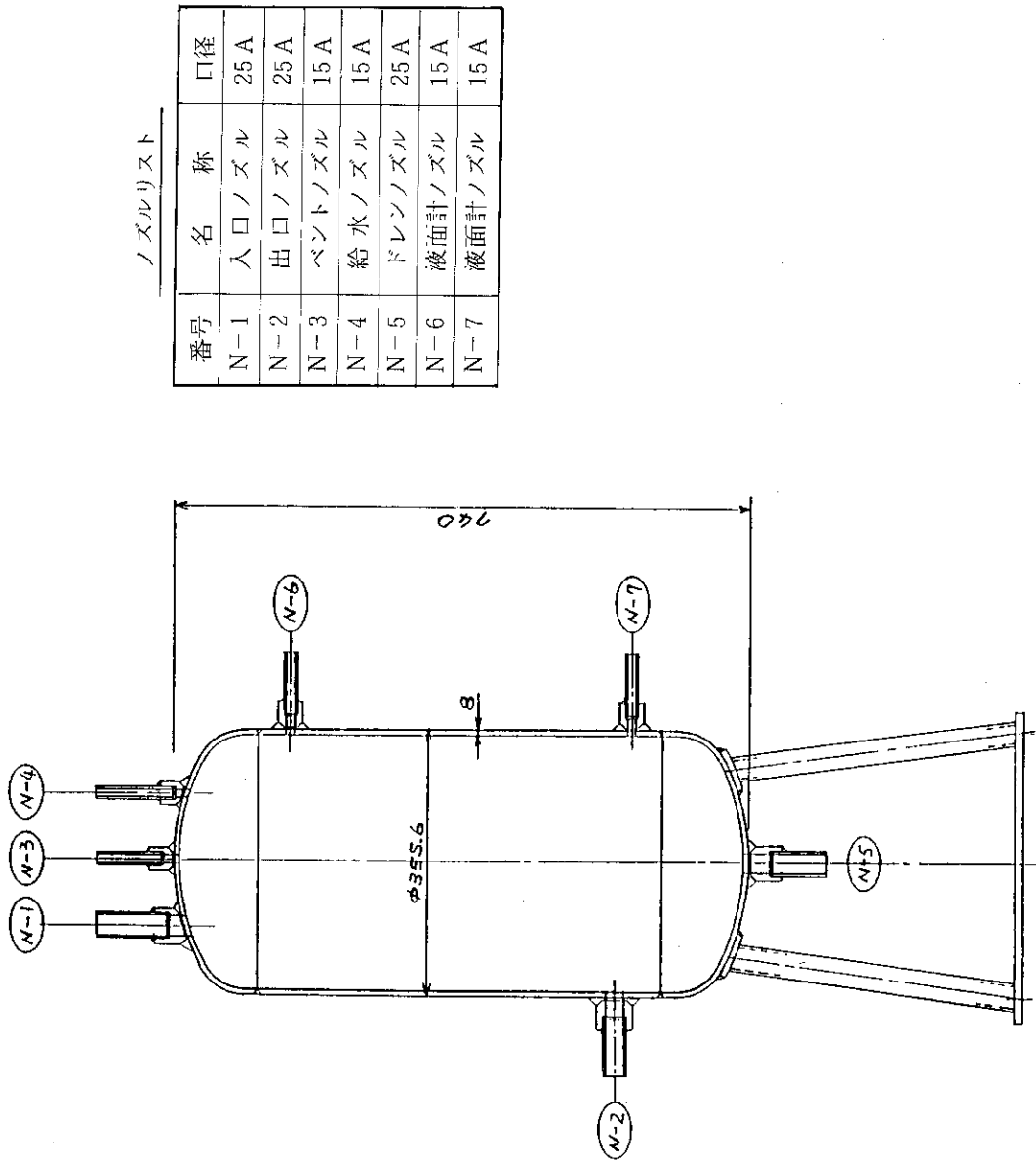


Fig. 8.2-5 Storage tank of clean-up water

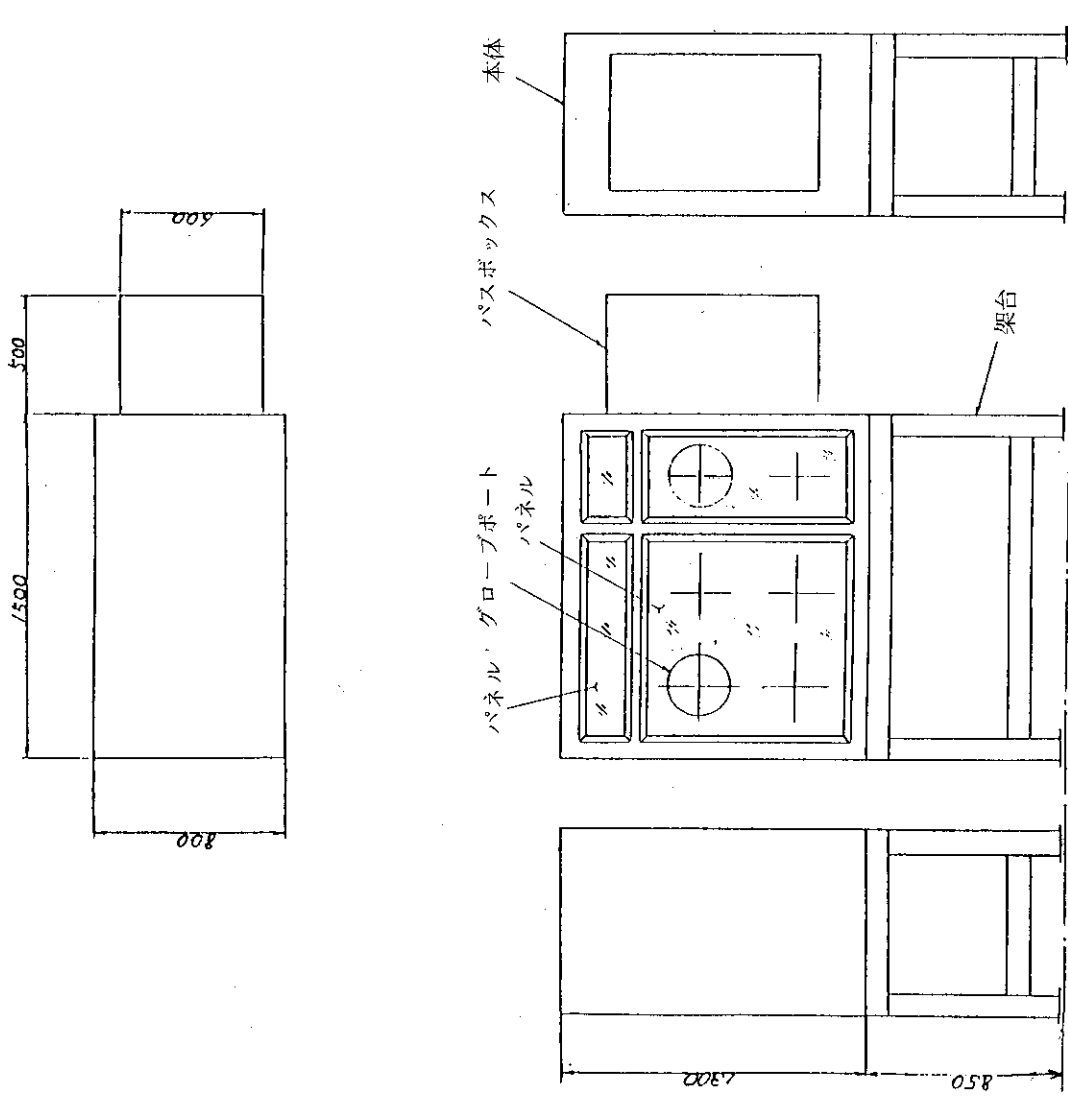


Fig. 8.2-6 Globe-box

### 8.3 固体廃棄物処理設備

#### 8.3.1 概要

本設備は、FERから発生する各種固体廃棄物を廃棄物の種類に応じて区分し、廃棄物に適合した方法により安全に処理・処分するものである。

本設計では、発生する固体廃棄物を下記のような3種類に区分し処理するよう計画した。

##### i) 大型放射性固体廃棄物

可動遮蔽体およびダイバータ等の大型構造物であり、トリチウムおよび放射化生成物を含有する固体廃棄物

##### ii) 小型放射性固体廃棄物

炉心に設置された各種センサ類およびテストキャプセル等の小型構造物であり、トリチウムおよび放射化生成物を含有する固体廃棄物。

##### iii) トリチウム含有固体廃棄物

トリチウム吸着剤、酸化触媒、およびフィルタ等の炉内構造物以外の廃棄物であり、トリチウムのみを含有する固体廃棄物。

大型放射性固体廃棄物は、予め分解・修理システムで突起部が切断され、本設備によりフレーム型コンテナに収納して水プールに貯蔵される。

小型放射性固体廃棄物は、各排出元で予め細断・分解等を行いドラム缶(Ⅱ)に詰められ、本設備に移送されて来る。本設備では、このドラム缶(Ⅱ)をコンクリート遮蔽体付きの $\gamma$ 廃棄物用ドラム缶内に密閉収納する。

トリチウム含有固体廃棄物は、本設備で減容した後、トリチウムの外部浸出を極力防止するため、3重容器内に収納するよう計画する。

以下では、本設備の主要部であるトリチウム含有固体廃棄物の処理を中心に記述する。

#### 8.3.2 設計上の基本方針

トリチウム含有固体廃棄物の処理設備の設計は、下記のような基本方針に基づき実施した。

- i) トリチウム含有固体廃棄物からトリチウムの外部浸出を防止するため、3重容器構造を採用する。又、容器間の空隙部にはアスファルトを充填し極力トリチウムの外部浸出を防止する。
- ii) ボロ、紙類等の減容可能な廃棄物は、プレス減容を行う。
- iii) プレス減容時のトリチウム外部飛散を極力防止するよう計画する。
- iv) 可能な限り自動化するよう計画する。

#### 8.3.3 系統機能及び構成

本固体廃棄物処理設備は、粉碎機、油圧プレス、溶接機、およびアスファルト充填部より構成される。この系統計画図をFig. 8.3-1に示す。

減容可能なトリチウム含有固体廃棄物は、容器(I)と共にフード内に搬入される。容器(I)は粉碎機の下部に装着され、廃棄物は粉碎機により粉碎体となり容器(I)に収納される。容器(I)

は蓋締めされホイストクレーンにより自動溶接機まで搬送され、蓋の溶封を行う。溶封された容器 (I) は、油圧プレスまで運ばれ約 1/3 まで圧縮減容される。

次に、アスファルトの底張りをした容器 (II) および容器 (III) をフード内に搬入する。圧縮減容した容器 (I) を容器 (II) の中に 3 個収納し、この容器 (II) をアスファルト充填部に搬送して空隙部にアスファルトを充填する。十分に冷却固化された容器 (II) は蓋締めされ溶接機により溶封される。

容器 (II) は容器 (III) の中に収納し、同様に空隙部へのアスファルト充填、冷却固化、蓋締め、および蓋の溶封を行う。

#### 8.3.4 系統仕様

以下に本固体廃棄物処理設備の系統仕様を示す。

- |                  |             |
|------------------|-------------|
| i) 減容対象廃棄物       | 紙, ボロ, その他  |
| ii) 生成梱装ドラム缶     | 5 缶/day     |
| iii) 固体廃棄物量 (初期) | 約 150 ℓ/day |
| iv) プレスによる減容比    | 約 1/3       |
| v) 粉砕機容量         | 約 100 ℓ/hr  |
| vi) 充填剤          | ストレートアスファルト |

#### 8.3.5 機器設計

前記の系統設計に基づき、本固体廃棄物処理設備の機器設計を実施した。以下に本処理設備の主要機器の主要目を示す。

##### a) 粉砕機

- i) 型式 : カッター式
- ii) 被粉砕物 : 布, 紙, ゴム類
- iii) 処理量 : 100 ~ 200 ℓ/hr

##### b) 油圧プレス

- i) 型式 : フレーム式油圧プレス
- ii) 圧縮能力 : 約 30 Ton
- iii) 減容比 : 1/3
- iv) 処理量 : 5 個/hr

##### c) 溶接機

- i) 型式 : 自動シーム溶接形
- ii) 溶接能力 : 最大  $2^t \times 2^t$
- iii) 消費電力 : 120 kw
- iv) 付属品 : ターンテーブル etc

##### d) アスファルト貯蔵タンク

- i) 型式 : 豎形円筒式
- ii) 外形寸法 :  $1812^\phi \times 2300$  mm

- iii) 使用温度 : 130 °C
- iv) 内容積 : 3 m<sup>3</sup>
- v) 材質 : SB42
- e) アスファルト計量タンク
  - i) 型式 : 縦形円筒式
  - ii) 外形寸法 : 462<sup>φ</sup> × 1000 mm
  - iii) 内容積 : 0.15 m<sup>3</sup>
  - iv) 材質 : SB42

Fig. 8.3 - 2 に本設備での重要処理工程を実施するアスファルト充填室の概念図を示す。

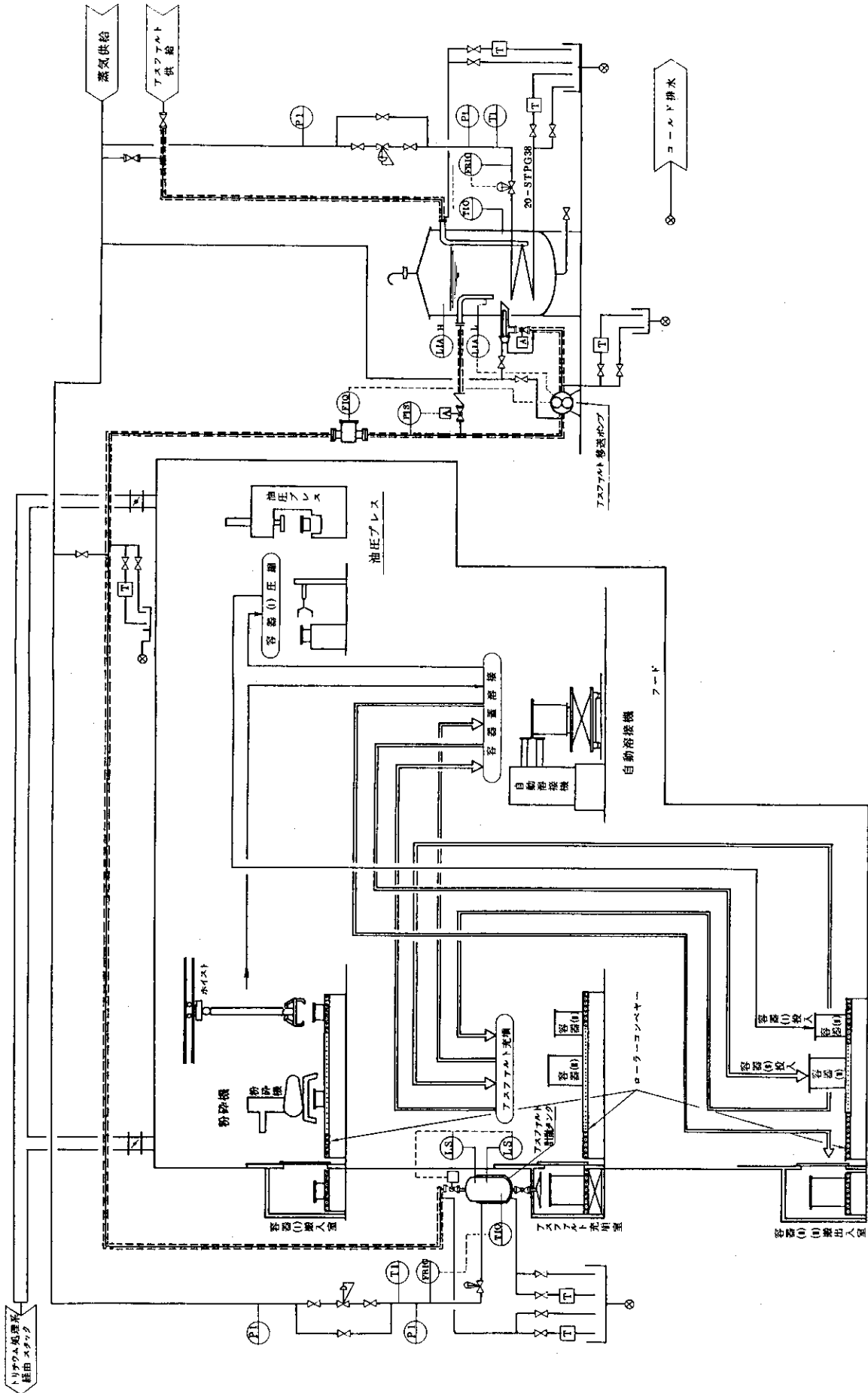


Fig. 8.3-1 Flow sheet of asphalt packaging system

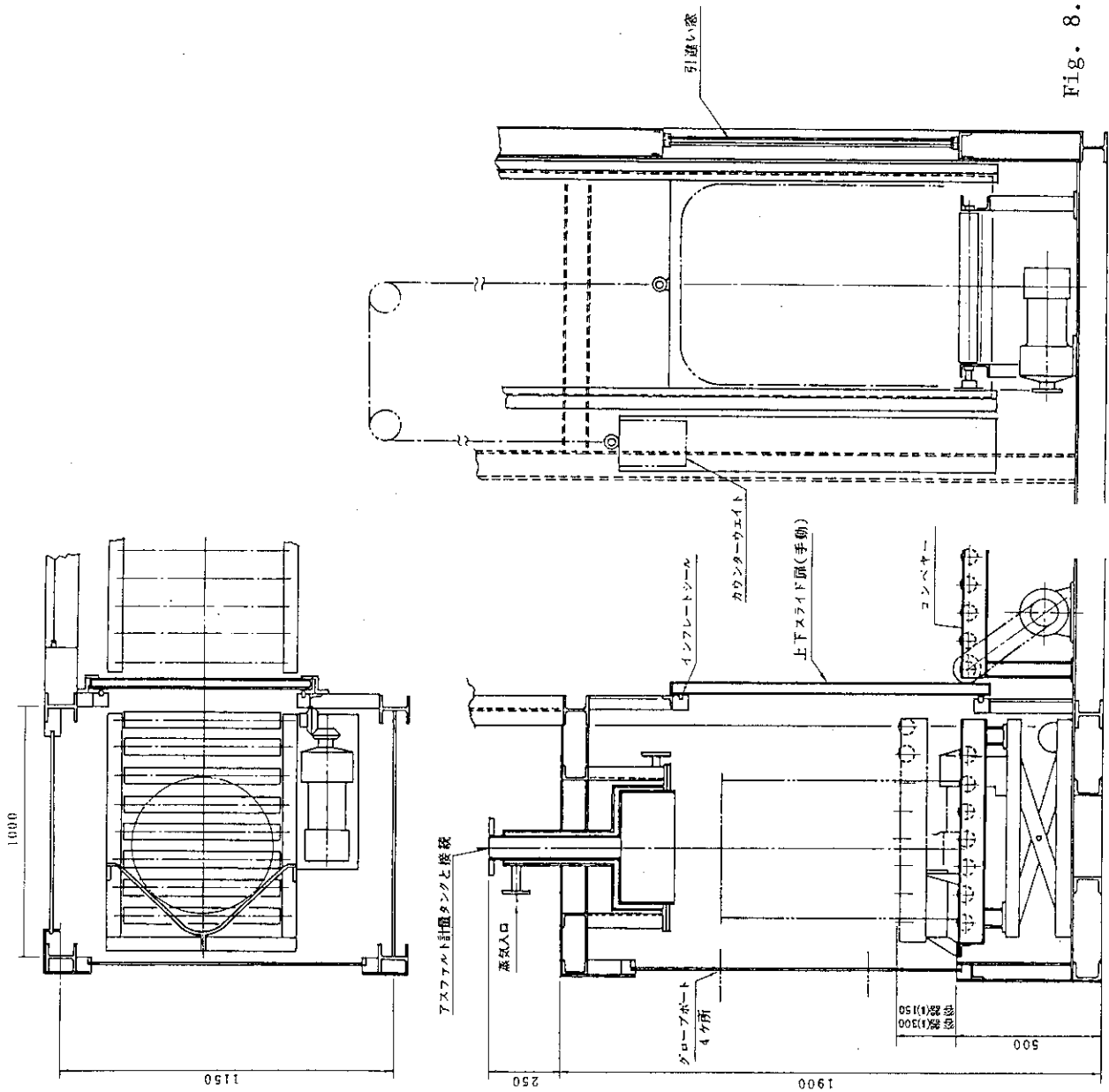


Fig. 8.3-2 Asphalt packaging room



## 8.4 廃棄物貯蔵設備

### 8.4.1 概要

本設備は FER の各システムから排出する固体廃棄物を一時保管することを目的とする。

固体廃棄物にはベータ線を放出するトリチウムとガンマ線を放出する放射化生成物を同時に含むものと、トリチウムのみを含むものがある。前者は大型および小型放射性固体廃棄物に分類して、大型放射性固体廃棄物は湿式の貯蔵プール内に貯蔵し、小型放射性固体廃棄物は遮蔽構造の放射体廃棄物貯蔵庫に貯蔵する。

一方、後者にはトリチウム含有廃液をセメント固化した固化体とトリチウム含有固体廃棄物が存在するが、これらはトリチウム含有廃棄物貯蔵庫に貯蔵する。

### 8.4.2 設計条件

本設備設計に当り設定した各廃棄物の発生予想量を Table 8.4 - 1 に示す。本表には同時に本設備への廃棄物受け入れ条件および本設備での基本的貯蔵方法を示す。

### 8.4.3 設備設計

本設備は、貯蔵プール、放射体廃棄物貯蔵庫、およびトリチウム含有廃棄物貯蔵庫より構成される。

#### a) 貯蔵プール

本貯蔵プールは、可動遮蔽体、ダイバータ遮蔽体、テストモジュール用遮蔽体等の大型固体廃棄物をコンテナに収納し長期貯蔵するものである。コンテナは、固体廃棄物の形状および寸法に応じ、以下の3種類を計画する。

大型コンテナ (コンテナ A)	4 m <sup>W</sup> × 4.5 m <sup>L</sup> × 6 m <sup>H</sup>
中型コンテナ (コンテナ B)	3.0 × 3.5 × 1.5
小型コンテナ (コンテナ C)	1.5 × 1.5 × 1.5

これらのフレーム形コンテナは移送、積重ねに十分な強度を有する枠組構造とし、内部積載物が十分プール水に浸り、冷却が確保できる構造とする。コンテナ A は一段置きとし、コンテナ B、C は四段積みとする。コンテナ B、C の積み重なる部分にははめ込み構造とし、貯蔵中の横移動防止が図れるように考慮する。

貯蔵時の取扱いは、原則として人が立入らず遠隔により作業を行うこととする。但し、室内の汚染は空気中トリチウムと除染容易な表面汚染のみであること、および他室との間に十分な遮蔽壁を有していることから、内装設備のメンテナンス時および非常時の作業員の立入りを考慮してプール深さを大きくとり、貯蔵コンポーネントに十分な水遮蔽を設けるものとした。この結果プール深さは次に示すように 14 m とした。

遮蔽上の必要性から	5 m
貯蔵物の高さ (コンテナ)	6 m
架台の高さ	1 m
作業員立入り時の遮蔽厚 (水遮蔽)	2 m
計	14 m

本貯蔵プール内に貯蔵する廃棄物は、比較的高い崩壊熱を有する。すなわち、高放射化されている可動遮蔽体は、炉停止1週間後に本プール内に貯蔵すると1モジュール当り約19KWを発熱する。このため、プール水は強制冷却装置により冷却を行うよう計画する。

以下に本貯蔵プールの機器仕様を示す。

- ・ 貯蔵プール寸法
 

コンテナA用	$13000 \text{ mm}^W \times 10000 \text{ mm}^L \times 12000 \text{ mm}^H$
コンテナB用	$9000 \text{ mm}^W \times 8000 \text{ mm}^L \times 12000 \text{ mm}^H$
コンテナC用	$11000 \text{ mm}^W \times 9000 \text{ mm}^L \times 12000 \text{ mm}^H$
- ・ 貯蔵能力
 

コンテナA	4ケ
コンテナB	12ケ
コンテナC	134ケ
- ・ 冷却能力 40KW
- ・ クレーン能力 300 T (75t × 4)

#### b) 放射体廃棄物貯蔵庫

トリチウムとガンマ放射体を同時に含む小型放射性固体廃棄物は、 $\gamma$  廃棄物用ドラム缶 (外形寸法  $590 \text{ mm}^\phi \times 890 \text{ mm}^H$ ) に収納され、本貯蔵庫へ移送され一時貯蔵される。

本貯蔵庫には94本の収納筒が計画されていて、 $\gamma$  廃棄物用ドラム缶は3段積みによりこの収納筒内に保管される。これらの $\gamma$  廃棄物用ドラム缶の発熱量は1缶当り約20Wと小さい ( $\text{Co}^{60}$  換算で  $10^3 \text{ Ci}$  の廃棄物が収納されている) ため、本貯蔵庫は自然空冷による冷却方式を採用した。

以下に本貯蔵庫の機器仕様を示す。

- ・ 庫内寸法  $11000 \text{ mm}^W \times 10500 \text{ mm}^L \times 6000 \text{ mm}^H$
- ・ 収納筒  $11000 \text{ mm}^W \times 10000 \text{ mm}^L \times 2900 \text{ mm}^H$   
(コンクリートブロック+鋼管)
- ・ 収納筒数 94本
- ・ 収納容量 282缶 (38缶は予備)
- ・ クレーン能力 1.0 Ton (リフティングマグネット式)

#### c) トリチウム含有廃棄物貯蔵庫

本貯蔵庫は、トリチウム含有廃液をセメント固化した固化体とトリチウム含有固体廃棄物を一時貯蔵するよう計画した。これらの廃棄物は、予め固体廃棄物処理設備にてアスファルト梱装等の固化処理 (外形ドラム缶寸法  $590 \text{ mm}^\phi \times 890 \text{ mm}^H$ ) が行われ、本貯蔵庫の床上に3段の直積にて保管される。

以下に本貯蔵庫の機器仕様を示す。

- ・ 庫内寸法  $10000 \text{ mm}^W \times 12000 \text{ mm}^L \times 6000 \text{ mm}^H$
- ・ 収納ラック  $8000 \text{ mm}^W \times 9600 \text{ mm}^L \times 2670 \text{ mm}^H$  (SS 41)
- ・ 収納容量 300缶
- ・ クレーン能力 1.0 Ton (リフティングマグネット方式)

上設の廃棄物貯蔵設備を含めた廃棄物処理・貯蔵システムの配置計画図および立体配置図を Fig. 8.4 - 1 および Fig. 8.4 - 2 に示す。

Table 8.4-1 Method and quantity for radioactive solid wastes storage

Component	収納容器	貯蔵方式	量	備考
可動遮蔽	フレム形コンテナ	水中	4	3つに切断して収納
ダイハータ ダイハータ板 支持構造 ダイハータ遮蔽 延長部	フレム形コンテナC フレム形コンテナB ドラム缶	乾式 水中 水中 乾式	12 (缶/回) × 7(回/life) = 84 (缶) 12 (体/回) × 7(回/life) = 84 (体) 6 (体) 2 (缶/年) × 10 (年) = 20 (缶)	セメント固化 細断、圧縮減容して収納 そのまま収納 廃棄部品のみ雑固体として セメント固化
テストモジュール テストキャプセル テストプランケット 増殖材パレット 容器他 テストモジュール遮蔽 台車 テストジャケット テストボート	ドラム缶 パレット収納容器 フレム形コンテナC フレム形コンテナB ドラム缶 フレム形コンテナB ドラム缶	乾式 乾式 水中 水中 乾式 水中 乾式	10 (缶/年) × 10 (年) = 20 (缶) 2 (体/年) × 5 (年) = 10 (体) 2 (体/年) × 5 (年) = 10 (体) 2 (缶/年) × 5 (年) = 10 (缶) 2 (キャプセル用) × 2 (プランケット用) = 4 (体) 2 (缶/年) × 10 (年) = 20 (缶)	セメント固化 気密性のある容器に収納 細断、圧縮減容して収納 そのまま収納 廃棄部品のみ雑固体として セメント固化 適当な大きさに切断して収納 廃棄部品のみ雑固体として セメント固化
RF アンテナ その他	フレム形コンテナC ドラム缶	水中 乾式	4 (体/年) × 10(年) = 40 (体) 2 (缶/年) × 10(年) = 20 (缶)	細断、圧縮減容して収納
計測系 トリチウム 廃液固化	ドラム缶 ドラム缶	乾式 乾式	4 (缶/年) × 10(年) = 40 (缶) 300 (缶)	細断して、セメント固化 高濃度トリチウム 廃液を濃縮して固化

(注) 収納容器の大きさ

フレム型コンテナA 4 mW × 4.5 mL × 6 mH  
 フレム型コンテナB 3 mW × 3.5 mL × 1.5 mH  
 フレム型コンテナC 1.5 mW × 1.5 mL × 1.5 mH  
 パレット収納容器 0.7 mD × 1 mH  
 ドラム缶 0.59 mD × 0.89 mH (2001)

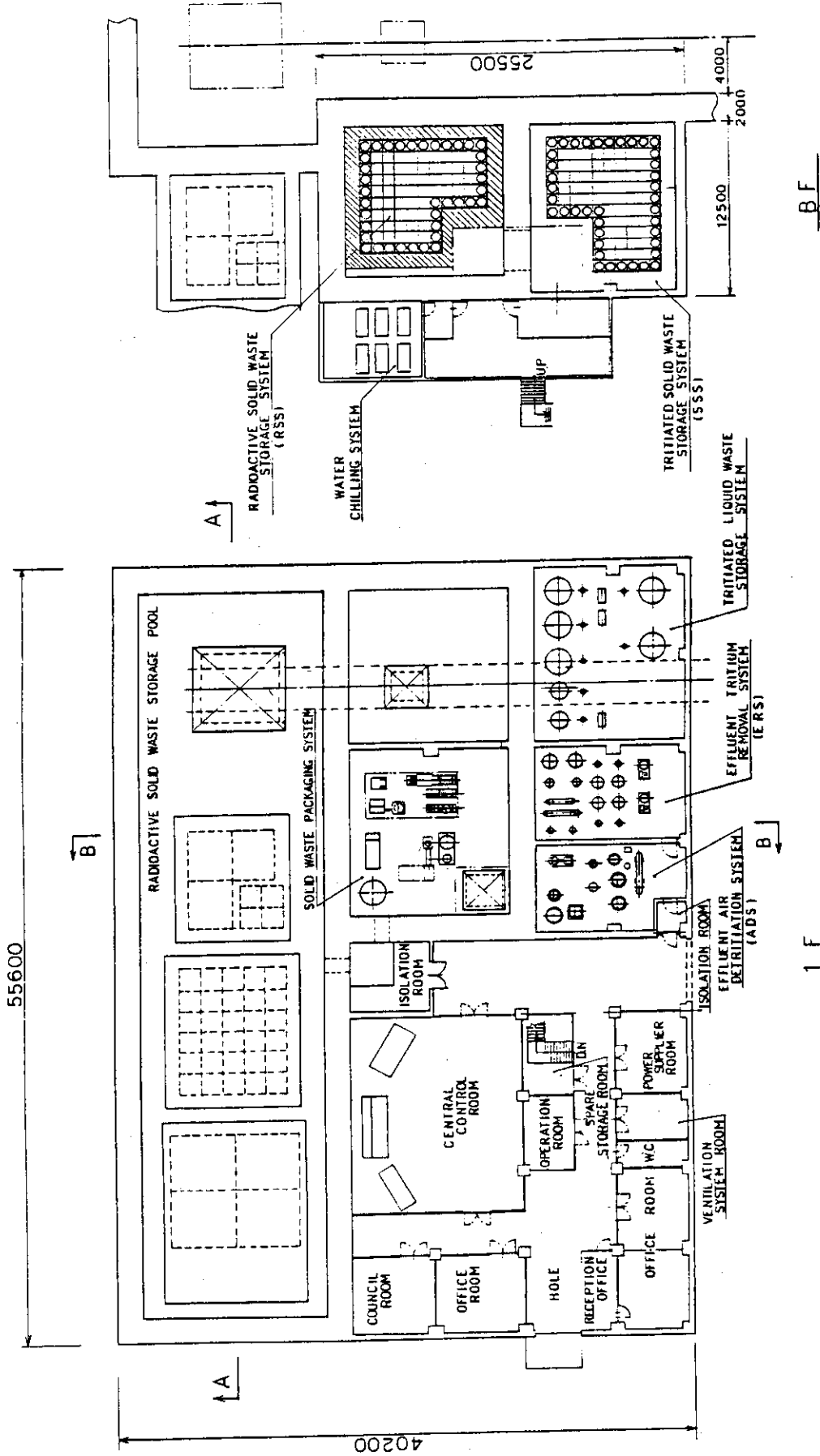


Fig. 8.4-1 Rad-wastes treatment & storage building (Plan view)

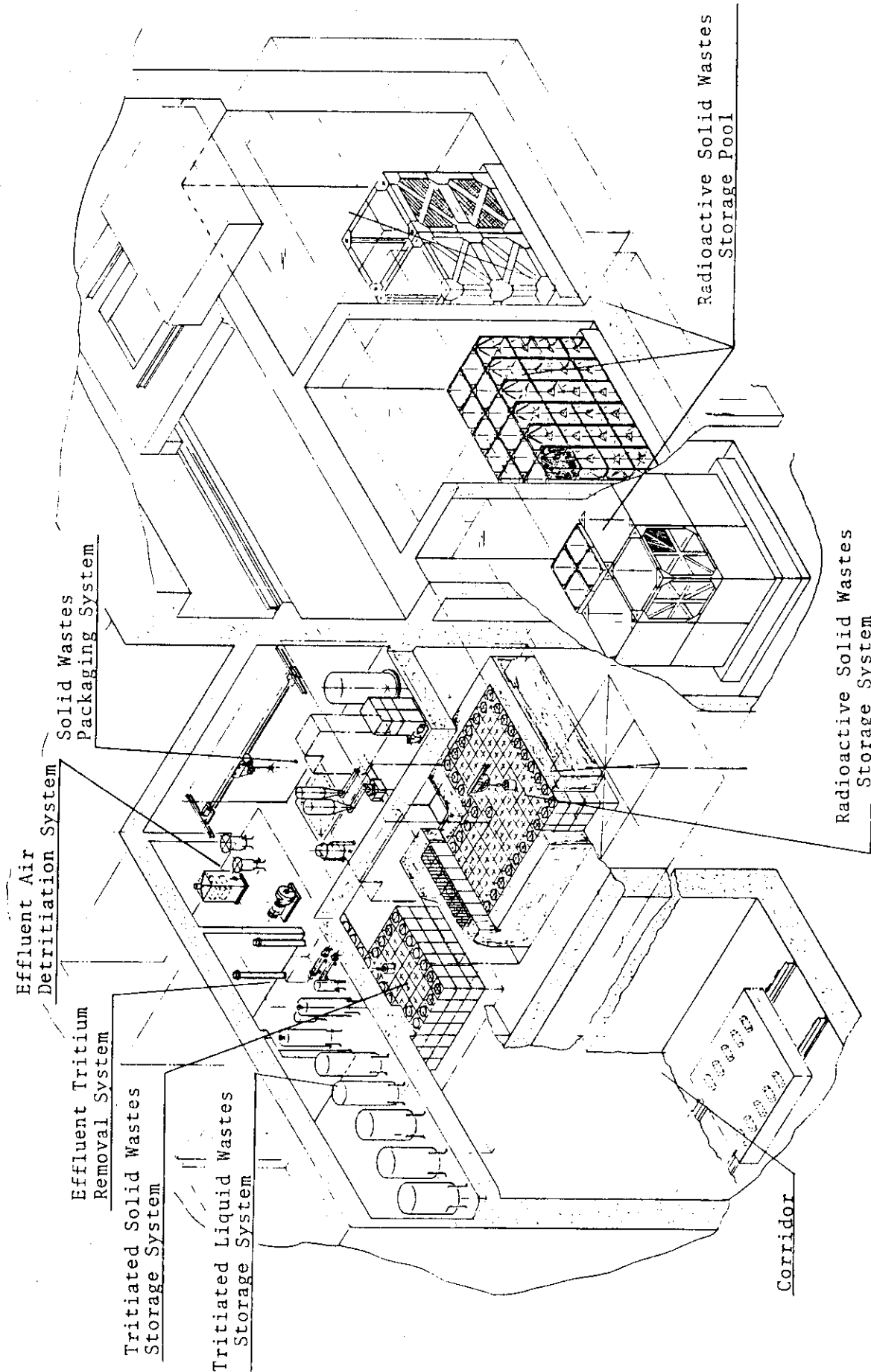


Fig. 8.4-2 Rad-wastes treatment & storage building configuration

## 9. 制御システムの設計検討

### 9.1 設計検討の目的と範囲

本設計検討の目的は、FER 実験炉の運転計画に従って、運転方式や制御方式を検討するとともに、将来の核融合炉の制御システムを火力または原子力発電所等の実用プラントをも参考にし、FER として適切なシステムを構成することにある。また、現在稼動中である JT-60 の成果を参考に設計することは言うまでもない。

FER 制御系は、FER 全体を統括運転、監視、制御する全体制御システムと、本体、電源等各設備を制御する個別制御装置から構成する。

本設計では、FER 運転、監視、制御の安全性、信頼性および経済性の向上を検討するとともに、実験炉として最も重要な課題のなかからプラズマ位置形状制御、温度、密度、駆動電流制御、燃焼制御およびディスラプション防止制御を例にとりて設計検討を進めることを目標とする。

したがって、今次設計においては、次の点を主な課題として設計を進めるものとする。

- ① 運転方式の明確化
  - ・ 全体運転モード
  - ・ 運転シナリオ
- ② システム構成の検討
  - ・ 全体制御システム
  - ・ 計算機システム
  - ・ 各制御盤（中央制御盤・各設備制御盤等）
- ③ プラズマ基本制御方式の検討
  - ・ プラズマ位置形状制御
  - ・ 温度、密度、駆動電流制御
  - ・ 燃焼制御
  - ・ ディスラプション防止制御

### 9.2 設計方針

FER 実験炉の制御システム設計を行うにあたっての方針を以下に示す。

- (1) 制御システム構成は階層化し、全体制御システムによって総括される各個別制御装置へ機能を分担することにより、柔軟性のある運転制御を実現し、各種実験運転の円滑化をはかる。
- (2) 全体制御システムは、各個別制御設備を統括監視制御し、協調のとれた運転を可能として、省力化とマンマシン性の向上をはかる。
- (3) システム全体の保護協調は、全体制御システムにより中央集中方式で行うと同時に、各設備個々の機器の保護は、各設備内でクローズして行う方式として事故の局所化を行う。

- (4) 運転監視は、CRT等を中心に行い、マンマシン性の向上と制御盤の縮小化をはかる。  
 (5) 全体制御システムと各個別制御装置間のインターフェースは標準化し統一することにより信頼性を向上するとともに保守性の向上をはかる。

また、FERとJT-60の相違を認識した上で設計を進める。

FERとJT-60の制御の観点から見た相違を以下に示す。

(1) 本体設備の違い

FERの本体設備の特徴の1つとして、超電導コイルの採用が掲げられる。これに伴い、冷凍機及び本体冷却システムの制御設備、更に、超電導コイル特有の保護設備が必要となる。本体設備のもう一つの特徴は、トリチウムの使用である。これに伴い、トリチウム設備の制御装置、遠隔保守補修設備の制御装置及びトリチウムモニタ等が必要となるが、詳細は別章にゆずる。

(2) プラズマ制御の高度化

FERではプラズマの燃焼制御が行われる。また、その他の制御についても高精度化が図られるものと考えられるので、制御パラメータ及び制御アルゴリズムが増大する。更に、プラズマの持続時間が大幅に増大することから取扱うデータ量も膨大なものとなると考えられる。即ち、JT-60を上まわる高速データ処理機能が要求される。したがって今後実システム製作時の最新の計算機、データ伝送システムを念頭において設計を展開する必要がある。

(3) マンマシン・インターフェースの改善

制御機能及びデータ量の増大を考慮して、一層効率の良い実験システムを構築することが必要である。また、実用化に向けて運転技術の基礎を固めるために、マンマシンインターフェースの高度化を考慮する必要がある。実験中央制御盤と運転制御盤の分離、ワイドスクリーンの採用がその例である。

### 9.3 運転方式

(1) 運転モード

各設備運転状態と運転モードの関係を Table 9.3 - 1 に示す。運転モードとは、全体制御システムと各個別制御装置が属する運転上の状態であり、各システム（制御装置）はある時刻において、必ず同一の運転モードになければならない。運転モードの考え方を導入することにより、FER全体の複雑な運転を円滑に行うことができる。

運転モードは、「停止」、「運転準備」、「真空排気」、「ベーキング」、「冷凍」、「放電洗浄準備」、「放電洗浄」、「実験準備」および「実験」の9モードとする。各運転モードにおける操作内容を以下に示す。

① 停止

電力設備（操作用配電設備、無停電電源）および制御設備のみ運転を行い、その他の設備は停止とする。

本体分解修理設備の運転は、停止モードにおいて行うものとする。

② 運転準備

電力設備、制御設備、1次/2次冷却設備の作動状態を確認し、その運転条件を設定する。



また、液化冷凍設備の貯液を開始する。貯液に要する時間は数日と考えられる。

### ③ 真空排気

プラズマ真空容器系およびクライオスタット系の排気運転を行う。大気開放状態から所定の真空度に到達するまでに、一週間程度を要するものと考えられる。

### ④ ベーキング

温度制御用ヒータへの電力制御を行い、真空容器壁、リミタ等の脱ガスを行う。

### ⑤ 冷凍

液化冷凍設備により生成した液体窒素、液体ヘリウムを、クライオスタットおよび本体コイルに導入して、冷却する。

### ⑥ 放電洗浄準備

燃料注入装置の準備操作を行うとともに、TFC電源およびPFC電源の準備等、放電洗浄に必要な設備を準備状態とする。

### ⑦ 放電洗浄

各種放電洗浄運転を実行する。

### ⑧ 実験準備

電源関係設備の他、加熱装置、加熱用電源、トリチウム設備等、実験に必要な設備を準備状態とする。

### ⑨ 実験

各種実験放電運転および炉の運転を実行する。本モードにおいて後述 (Fig. 9.3-1) するシナリオで繰り返し運転を行う。

## (2) 運転シナリオ

運転シナリオの概要として運転制御内容を Table 9.3-1 に示す。本シナリオは、高周波電力入射またはNBI入射によるプラズマ電流駆動を行うことが特徴である。また運転シナリオを Fig. 9.3-1 に示す。

高周波電流駆動による運転では、ECHおよびOHコイルによる初期放電ののちプラズマ電流の立上げをLHRF入射により行い、プラズマ電流  $I_p$  が十分な値に到達した後 ( $I_p = 7.7$  MA), ICRF, LHRF入射によりプラズマ加熱、燃焼フェーズに入る。燃焼フェーズにおいては、OHコイルによる誘導方式によりプラズマ電流を維持し、プラズマのプロファイルコントロールをECHにより実行する。燃焼立下げフェーズでは、OH操作の外にプラズマの安定な立下げと電源系への負担を軽減するため、再度ICRF, LHRF入射によりプラズマの内部エネルギーおよび電流の制御を行う。

NBI入射によるプラズマ電流駆動を用いた運転では、プラズマ電流の立上げを  $I_p = 2$  MA領域からNBI入射により行う。このためNB電流の初期段階にOHコイルの再充電を折込んでいる。プラズマ電流  $I_p$  が十分な値に到達した後、NBI入射によりプラズマ加熱を行い燃焼フェーズに入る。燃焼フェーズにおいては、OHコイルによる誘導方式によりプラズマ電流を維持し、プラズマのプロファイルコントロールをNBI入射により実行する。燃焼立下げフェーズでは、プラズマの安定な立下げのため、再度NBI入射によるプラズマの内部エネルギーおよび電流の制御を行う。

以上の両方式において、OHコイルによる電流立上げをプラズマ電流立上げの最初期に併用する。

したがって、制御システムとしては、これらのフェーズ毎の動的な切換えを円滑に行えるものでなければならない。

#### 9.4 システム構成の考え方

##### (1) 全体制御システムの考え方

FER実験炉は、従来の核融合試験装置に比較して、構成系統、設備機器が増加し、その制御内容もより複雑化するものと考えられる。したがって、制御システムを如何に最適化し、合理的な設計を行うかが課題となる。

本設計の考え方を以下に示す。

##### ① 実験中央制御盤と運転中央制御盤の分離

実験中央制御盤と運転中央制御盤を完全に分離する。これにより、各制御盤の機能の相違をハードウェア設計に明確に反映できるようにする。すなわち、前者はFER制御計算機（主としてプラズマ制御に係る計算機）の入出力コンソールと考え、柔軟性に重点をおき、操作もキーボード主体とする。後者は、プラント制御盤と考え、操作性、信頼性に重点をおき、CRT操作は、釦スイッチを用いて複雑な操作を不要とするとともに、小型化をはかる。

##### ② 実験中央制御盤と運転中央制御盤の機能分担

運転モードの考え方から、実験中央制御盤と運転中央制御盤の操作を検討する。

各運転モードの操作・制御の時間オーダは、以下に示すように、数箇月からmsまで広範囲に渡る。またプラント運転やプラズマ制御に必要な計測信号の収集についても同様である。

- |               |   |         |
|---------------|---|---------|
| (i) 「停止」      | … | 数日～数箇月  |
| (ii) 「運転準備」   | … | 数日      |
| (iii) 「真空排気」  | … | 約1週間    |
| (iv) 「ベーキング」  | … | 約1週間    |
| (v) 「冷凍」      | … | 約1箇月    |
| (vi) 「放電洗浄準備」 | … | 数10分    |
| (vii) 「放電洗浄」  | … | 数10分/ms |
| (viii) 「実験準備」 | … | 数10分    |
| (ix) 「実験」     | … | 数10分/ms |

各運転モードにおいて、各設備が単独で運転制御できるか、あるいは複数設備の協調をとった複雑な運転制御が必要であるかによって、全体制御システムの構成を考える必要がある。

すなわち、「停止」を除くと、「運転準備」から「冷凍」の運転モードでは、操作・制御の時間オーダが長い。また各設備単独運転が主体となった運転を行う。

一方、「放電洗浄準備」から「実験」の運転モードでは、プラズマ制御およびその準備が運転の主目的のため、各設備の運転操作を集約することが必要である。

以上より、Fig. 9.4 - 1 に示すように、中央制御盤を実験中央制御盤と運転中央制御盤に

分割する。運転中央制御盤は、各設備からの監視・操作用信号を集約する。実験中央制御盤は、プラズマ放電制御に関する監視・操作信号を集約する。いずれの制御盤もCRT付デスク型制御盤とし、運転員による監視・操作が円滑に行うことができるようにする。

### ③ 保護機能に関する機能分担

FERは、巨大な電気システムであり、実験運転中は膨大なエネルギーを蓄積している。したがって、故障発生時はシステムの速かな停止が必要である反面、急激なシステム停止は、本体各部の過大応力発生の要因となるため、異常の種類によっては、停止用の制御シーケンスを作動させて穏やかな停止を行い、極力システムの急停止を避けるような方策が必要である。また、エネルギー有効利用の観点から、機器保護上時間的に余裕のある異常項目については、1放電はそのまま実行し、次回放電に至る前に保護動作を作動させることが考えられる。

以上より、Table 9.4 - 1に示すように、ハードワイヤードと計算機制御の適切な機能分担による保護機能を考慮した制御システムとする。

## (2) 計算機システムの考え方

計算機システムを検討するにあたって、ハードワイヤードと計算機制御の機能分担および自動化の度合の2点が重要である。

以下に、ハードワイヤードと計算機制御の機能分担に関する基本的な考え方について示す。

### ① 監視機能

計器、ランプ表示等のハードワイヤード監視方式と計算機によるCRT監視方式を、下記項目に分類してTable 9.4 - 1に示す。

- (i) アナログデータ監視
- (ii) 個別機器運転状態監視
- (iii) プラント集約運転状態監視

本表に示すように、両方式にはそれぞれ得失があり、それらを踏えて適用の検討を行う必要がある。

運転員の負担軽減および経済性の面からは、CRT方式により、プラント情報の集約・集中化が不可欠である。そのため、FER制御システムではプラント監視機能のほとんどを、計算機システムにより実現することになるであろう。

しかしながら、監視情報の欠落が、FERを安全に運転する上で重大な支障をもたらすような監視項目については、ハードワイヤードの監視計器を併用して、信頼性を確保する。

### ② 制御機能

FERの制御の中心は、プラズマ実験制御である。プラズマ実験制御では、短時間に多くの制御対象設備を同時に制御することが必要である。また、これらの制御対象設備に対する制御を、実験条件に応じて柔軟に変更できることが必要である。そのため、計算機による自動化が不可欠である。

一方、FERをプラントとしてとらえた場合、稼働率向上のために高い信頼性を確保するには、運転に関する過度の自動化は好ましくないと考えられる。Table 9.4 - 2に、運転自動化項目案を示す。

## 9.5. プラズマ制御方式

### 9.5.1 プラズマ位置形状制御

#### (1) プラズマ位置形状制御の考え方

閉込め特性の良いプラズマを長時間にわたって維持することが、核融合反応を維持するための必要条件である。

特に閉込め特性の良い“H-mode”プラズマは磁気リミッタ配位（ダイバータ配位）のプラズマで得られ、特にプラズマ表面とリミッタの距離  $\delta$  が充分離れているとが必要である。ASDEXでの実験結果によれば、 $\delta \geq 3 \text{ cm}$  が閉込め特性を良好に保つ条件とされている。

一方FERではスクレイプオフ層（つまりプラズマ表面とリミッタの距離  $\delta$ ）は  $10 \sim 20 \text{ cm}$  と狭く、またプラズマ電流駆動用の高周波入射アンテナとプラズマとの距離も一定に保つ必要がある。この為小半径  $1 \text{ m}$  余のプラズマに対し、 $2 \text{ cm}$  程度以下のプラズマ表面位置変位に保ちプラズマ表面とリミッタ又はアンテナ間の距離を一定に保つプラズマ位置形状制御法が必要となってくる。

従来のトカマク装置では主にプラズマ位置制御を中心に行い、形状制御は、単に非円形度  $\kappa$  を一定に保つという考え方であり、プラズマ表面位置を積極的に制御していなかった。しかし、FERではプラズマ表面とリミッタとの間の位置関係を一定に保つことが重要となり、Fig. 9.5.1-1 に示すようなパラメータの制御が必要となると思われる。

つまり、RFアンテナとプラズマ表面の距離  $\delta_{RF}$ 、リミッタとプラズマ表面  $\delta_1 \delta_2 \delta_3 \delta_4$ 、タル点位置  $R_n, Z_n$ 、プラズマ小半径（横） $a$ 、プラズマ小半径（縦） $b$  及びプラズマ電流  $I_p$ 、磁気軸  $R_p, Z_p$  及び三角度  $c/a$  である。

これらの制御はポロイダル磁場コイル（PFC）によって行われ、FERでは従来の機能別コイルとは異なりハイブリッド型のPFCを用いる。また位置不安定性のような垂直方向、水平方向の速い動きに対しては高速な制御が必要な為PFCとは別にプラズマ近傍に配置した位置制御用コイル（CFC）が用いられる。

PFCは巻数・電流容量共に大きい為、応答速度が遅く、1秒程度より遅い時定数での制御を行う。又CFCはトロイダルコイル（TFC）内に配置されるため設置空間・電磁力等により制約され電流容量を大きくとれない。この為発生できる磁場はPFCの5%程度と推定される。しかし、プラズマに近いこと、巻数が小さいことから高速な応答が可能で1秒以下の速い時定数の制御を受持つ。

#### (2) プラズマ位置形状制御システム

FERでのプラズマ位置形状制御システムはFig. 9.5.1-2のように構成されると考えられる。この中で総合制御システムはFER全体の運転条件を設定するものである。この下位にプラズマ位置形状制御計算機があり、プラズマ位置形状を総合制御システムから与えられる目標値に従って制御している。位置形状制御システムには前処理システム・プラズマ位置形状計算システム、ハイブリッド型ポロイダルコイル（PFC）制御システム、位置制御用ポロイダルコイル（CFC）制御システム及びPFC、CFCの各電源が含まれる。各部分の働きについて以下に説明する。

## (i) 前処理システム

積分器及び計測誤差除去器が含まれる。計測誤差除去器は、磁気プローブ及び回路が受ける誘導ノイズを除去する。誘導ノイズは各コイルを流れる電流によるものである為

$$B_k = B_k^m - \sum_i C_{ki} I_i \quad (9.5.1)$$

により磁場データを補正する。ここで  $B_k$  は  $k$  番目のセンサ部の磁場値  $B_k^m$  は  $k$  番目センサの出力の生データ、 $C_{ki}$  は  $i$  番コイルによる  $k$  番センサの補正係数、 $I_i$  は  $i$  番目コイルの電流値である。

## (ii) プラズマ位置形状計算方式

プラズマの形状を磁場計測データをもとに計算する。求めるべきパラメータは Fig. 9.5.1-1 に示したもので、 $\delta_{RP}$ ,  $\delta_1 \sim \delta_4$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $R_p$ ,  $Z_p$ ,  $R_n$ ,  $Z_n$  及び  $I_p$  である。 $I_p$  は計測値が利用できるが、その他のパラメータはプラズマ表面に相当する等磁気面  $\Psi = \Psi_0$  を求める必要がある。等磁気面を求める方法としては、いくつか考えられるが現在考えられる3方法について説明する。

## 方法1

プラズマ表面は等磁束面で構成され、リミッタに接するいくつかの等磁束面とセパトリックスを含む等磁束面（セパトリックスが2つ以上あればその全て）のうち最もプラズマ中心に近いもので定義される。従ってプラズマ断面形状を求めるためにはプラズマ周囲の磁場分布を正確に再構成する必要がある。ここで説明する方法はプラズマ電流分布を数本のフィラメント電流で表現しプラズマ周囲の磁場を再現するもので、ISX-B で使われた方法と同様である。本手法による解析の体系を Fig. 9.5.1-3 に示し、解析手順を次に示す。

(1) コイル電流と磁気センサ出力の応答対数  $C$  を求める。この係数  $C$  は次式で定義される。

$$P = C I \quad (9.5.2)$$

但し、 $I$  : 電流ベクトルでプラズマを近似する線輪電流、コイル電流値、 $P$  : 電流  $I$  をもとに解析的に求めた磁場を表わす量で、ポロイダル磁場強度、磁束及びプラズマ電流、 $C$  : 応答係数マトリックス、である。

(2) 電流値  $I$  を次式の評価関数  $E$  を最小とするように決める。

$$E = \sum_i \frac{|P_i^m - P_i|^2}{\sigma_i^2} \quad (9.5.3)$$

但し、 $P_i^m$   $i$  番目の磁気計測値、 $\sigma_i$  計測誤差の大きさ、及び  $P_i = (CI)_i$  である。 $P_i$ ,  $P_i^m$  と  $\sigma_i$  は同じ次元の値で評価関数  $E$  は無次元数となり、 $\frac{1}{\sigma_i^2}$  は各計測値にかけた重みに相当する。従って誤差の大きい計測値の(2)式への寄与は小さくなる。

(3) プラズマ表面の磁束関数  $\Psi_0$  を決める。ポロイダル断面上の点  $(R, Z)$  での磁束関数  $\Psi(R, Z)$  は次式で定義される。

$$\Psi(R, Z) = R A_\phi(R, Z) \quad (9.5.4)$$

但し、 $A_\phi$  はプラズマ電流とポロイダルコイルの全てが作るベクトルポテンシャルのトロイダル方向成分、 $R$  は主半径、 $Z$  は高さ方向位置、及び  $\Psi$  は磁束関数で半径  $R$  のループ内の全磁束に  $\frac{1}{2\pi}$  をかけた値である。リミッタ上の磁束関数値及びセパトリックスができる場合はヌル点 ( $B_\phi = 0$ ,  $B_\phi$  : ポロイダル磁場強度) の磁束関数値を求め、このうち最も大き

な値をプラズマ表面の磁束関数値  $\Psi_s$  とする。

(4) 磁束関数値が  $\Psi_s$  の等磁束面の座標 ( $R_s, Z_s$ ) を求める。

$R_s, Z_s$  は下式を満たす点座標でプラズマ表面の座標である。

$$\Psi(R_s, Z_s) = \Psi_s \quad (9.5.5)$$

$R_s, Z_s$  が求めればリミッタとの距離  $\delta$  は計算出来る。また磁気軸は次の中心位置で代用する。

プラズマ中心位置 ( $R_p, Z_p$ )

$$R_p = \frac{1}{I_p} \sum_i I_i R_i \quad (9.5.6)$$

$$Z_p = \frac{1}{I_p} \sum_i I_i Z_i \quad (9.5.7)$$

方法2

前方法と同様にプラズマは数本の線論電流で近似する。しかし前方法で外部コイルによる磁場は各PFCに流れる電流値(磁場データにより求める)をもとに求めたが、この方法ではFig.9.5.1-4のようにポロイダル断面内の閉曲線  $r$  上の計測値により求める。つまり、 $r$  内の任意の点  $j$  の磁束関数値  $\Psi_j$  は次式のように与えられる。

$$\Psi_j + \int_r \Psi \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial n} dr - B_r w dr = \sum I_n W_{nj} \quad (9.5.8)$$

ここで、 $B_r, \Psi$  は計測値でそれぞれ  $r$  の接線方向磁場強度及び磁束関数値である。 $w$  は  $r$  の点を流れる単位線論電流が点  $j$  に作る磁束関数値、 $W_{nj}$  はプラズマを模擬する単位線論電流が  $j$  点に作る磁束関数である。 $I_n$  は方法1と同様に  $r$  内の計測点  $m$  の磁場計測値を再現するよう決定する。

任意の点の磁束関数値が求めれば  $\Psi = \Psi_s$  の等磁束面が求まり、各パラメータが求まる。

方法3

方法1, 2 は共に現在の汎用大型コンピュータで約 100 ms 程度の計算時間で各パラメータを求めることができる。PFCによる形状制御の時定数は1秒以上と考えられ充分速いものである。しかし、位置制御にはさらに高速な制御が必要であり、また形状変化に対しても素速く応答することが望ましく、さらに高速な形状計測が必要とされる可能性もある。そこでJT-60で用いられている方法の利用が考えられる。つまり、

$$\delta_i = \sum_{j=\text{プロ-ブ}} C_{ij}^p \frac{B_j}{I_p} + \sum_{\text{コイル}} C_{ij}^c \frac{I_j}{I_p} \quad (9.5.9)$$

のような近似式でFig.9.5.1のパラメータが表現できると仮定し、各係数  $C_{ij}^p, C_{ij}^c$  をMHD平衡計算又は実験によるデータベースを用いて経験的に求める。この方法は非常に高速に各パラメータを決定できると思われるが、FERのようなオープンダイバータでヌル点近傍に計測点が充分にとれない装置でどの程度の精度が得られるか今後検討していく必要がある。

以上3つの方式を示したが、精度の面から考えると方法1、経済性の面から考えると方法3が適切と考えられる。

## (iii) プラズマ位置形状計算システム

このシステムの入力はプラズマ形状を示す Fig. 9.5.1-1 のパラメータ  $\delta_i$  等、プラズマの  $\beta$  値 (温度・密度) を示すプラズマ診断結果のデータ及び各コイルの電流値 ( $I_j$ ) である。また出力されるものは各コイルへ加えられる電圧 ( $V_j$ ) である。つまり、

$$\mathbf{V} = \mathbf{f}(\delta, R_p, Z_p, R_n, a, b, I_p, \beta, \Pi) \quad (9.5.10)$$

である。

FER では電源容量の節約、制御自由度の多様化の為従来の機能別コイルとは異なり、ハイブリッド型ポロイダルコイルによるプラズマ断面形状制御を採用する。このため (9.5.9) 式の関数  $\mathbf{f}$  は一意的には決らず多くの自由度があるが、一例として次のような関数が考えられる。

まず、MHD平衡計算によれば (9.5.9) の関数の変数に対してコイル電流値がもとまり、各コイルの抵抗を考慮すれば基準電圧が求まる。

$$V_i^0 = \frac{I_i^0}{Q_i} = \frac{1}{Q_i} I_i^0 (\delta^0, R_p^0, Z_p^0, R_n^0, Z_n^0, a^0, b^0, I_p^0, \beta^0) \quad (9.5.11)$$

これに対し、各パラメータに変化があれば、負帰還制御を行うので、コイルに加える電圧  $\mathbf{V}$  は次のようになる。

$$\vec{\mathbf{V}} = (\vec{\mathbf{F}}^t + \vec{\mathbf{B}}) \vec{\mathbf{A}} \vec{\Delta} + \vec{\mathbf{V}}^0 \quad (9.5.12)$$

ここで、 $\Delta$  は変位を示すベクトルで、

$$\vec{\Delta} = \begin{pmatrix} \vec{\delta} - \vec{\delta}^0 \\ R_p - R_p^0 \\ \vdots \\ \beta - \beta^0 \end{pmatrix} \quad (9.5.13)$$

$\vec{\mathbf{A}}$  は利得マトリックス、 $\vec{\mathbf{B}}$  はコイル相互及びプラズマとコイル間の誘導による電圧を除去するマトリックス、及び  $\vec{\mathbf{F}}$  は各コイルに加える負帰還制御のための電圧に対し素速く  $\vec{\Delta}$  を小さくするためフォーシングをかける利得である。 $\vec{\mathbf{A}}$ 、 $\vec{\mathbf{B}}$ 、 $\vec{\mathbf{F}}$  はプラズマの動特性を考慮して決める。例えばトカマク回路論などを用いて  $\vec{\mathbf{A}}$ 、 $\vec{\mathbf{B}}$ 、 $\vec{\mathbf{F}}$  を決めることが考えられるが、トカマク回路論では  $\delta$  等のパラメータは表現できないため新たなモデルの開発が必要である。

## 9.5.2 温度・密度・駆動電流制御

運転シナリオの全体概念図は Fig. 9.3.1-a に示したとおりである。同図に示すように運転シナリオは、(A) プラズマ電流立上げ (ramp-up)、(B) 燃焼立上げ (ignition approach)、(C) 燃焼 (Burn)、(D) 燃焼立下げ (Cooling)、(E) 運転終了 (Final shut-down) の特徴的なフェイズに分けられる。

## (A) プラズマ電流立上げフェイズ

初期燃料ガス封入後、ECRF ( $\leq 10$  MW,  $\sim 1-5$  s) を入射し、プラズマ生成を行う。同時に OH コイル ( $\sim 10$  V) を印加し 500 kA 程度までプラズマ電流を上げる。電子温度が 1 keV 程度まで上昇した後、電流駆動用 LHRF を入射し、密度を低密度 ( $3 \sim 10 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ) に保ちつつ 100 s 程度のゆっくりとした時間スケールでプラズマ電流を立ち上げる。

## (B) 燃焼立上げフェイズ

このフェイズでは、プラズマ温度、密度及び電流を自己点火条件を満すプラズマパラメータまで立上げる。密度上昇に伴い LHRF 電流駆動効率の低下が予想される。従って、このフェイズ初期で RF 電流維持から OH コイル電流維持に切り換える。同時に、追加熱が有効となる程度まで密度上昇を行う。この後、RF/NBI 加熱 (40 ~ 50 MW, ~20S) により自己点火領域に達するシナリオを想定する。

## (C) 燃焼フェイズ

このフェイズでは、燃焼の長時間化に伴い、磁束拡散及びプラズマ電流分布制御が重要となる。ここでは電流分布制御用として ECRF (~3 MW, ~10 s 間隔) の入射を考える。

## (D) 燃焼立下げフェイズ

このフェイズは、燃焼立上げフェイズ (B) の逆過程を想定する。PF コイル電源パワーにピークが生じないようにするため追加熱を行いつつ、ゆっくりとプラズマ温度・密度等を減少させる必要がある。再充電運転を行う場合は OH コイル電流維持へ切り換えるため RF 電流駆動の目標密度領域 (~ $3 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ ) まで密度を減少させる。

## (E) 運転終了フェイズ

通常の燃焼立下げフェイズと同様な考え方に従い、一旦炉心が自己点火領域からはずれた後は追加熱を行いゆっくりと温度・密度を減少させ、その後 OH コイル印加を終了する。OH コイル印加終了後、炉心パワー・バランスの観点から、温度が短時間に減少することも考えられる。この場合には、LHRF の入射、ECRF による補助加熱、あるいは直前での燃焼フェイズの燃焼時間を短かくし、余った OH コイル磁束による電流の減少を制御する等の対策が必要となる。

本節では、特に、フェイズ (A) の中のプラズマ電流立上げでのプラズマパラメータを示し、プラズマ温度・密度・駆動電流をその立上げパターンに従って運転制御することを考える。

## (1) LHRF 電流駆動モデル

運転では、プラズマ密度の低いプラズマ立上げ初期に LHRF (低域混成波) でプラズマ電流を駆動する。LHRF 電流駆動を用いる運転シナリオを解析するために、プラズマ輸送方程式、回路方程式と結合した電流駆動モデルを用いる。

解析の基礎方程式は、ボルツマン方程式とマックスウエル方程式である。準線形近似を用いると、

$$E_{DC} \frac{\partial f}{\partial v} = \frac{\partial}{\partial v} D(v) \frac{\partial f}{\partial v} + \frac{\partial}{\partial v} \left( \frac{1}{v^3} \frac{\partial f}{\partial v} + \frac{f}{v^2} \right) \quad (9.5.14)$$

となる。上記フォッカー-プランク方程式は衝突時間 ( $\nu_{ei}^{-1} \sim 10^{-6} \text{s}$ ) で変化することから  $\frac{\partial f}{\partial t}$  の項は無視した。また、 $E_{DC} = eE_{||} / m\nu_e v_t$ ,  $D(v) = D_0 / \nu_e v_t^2$ ,  $v = v_{||} / v_t$  である。RF スペクトルから RF 拡散係数が  $v_1 \leq v \leq v_2$  の領域が存在すると仮定すると、(9.5.14) 式から駆動電流密度及び吸収パワー密度を求めると次のようになる<sup>1)</sup>。



$$j_{RF} = 2.2 \times 10^{-10} \frac{n_e}{\sqrt{T_e}} \exp \left[ -\frac{225.9}{n_{z1}^2 T_e} + \frac{6.55 \times 10^4 E_{DC}}{n_{z1}^4 T_e^2} \right] \\ \times \left[ n_{z2}^2 - n_{z1}^2 + \sum_{i=1}^2 (-1)^i \left\{ \frac{2}{1 - \frac{511.9 E_{DC}}{n_{zi}^2 T_e}} + \frac{E_{DC}}{4 \left( 1 - \frac{511.9 E_{DC}}{n_{zi}^2 T_e} \right)^3} \right\} \right] \quad (9.5.15)$$

$$P_d = 2.2 \times 10^{-32} \frac{\ln A n_e^2 (Z_{eff} + 2) K}{\sqrt{T_e}} \exp \left[ -\frac{225.9}{n_{z1}^2 T_e} + \frac{6.55 \times 10^4 E_{DC}}{n_{z1}^4 T_e^2} \right] \\ \times \left\{ \ln \frac{n_{z1}}{n_{z2}} - \frac{225.9 E_{DC}}{T_e} (n_{z2}^{-2} - n_{z1}^{-2}) \right\} \quad (9.5.16)$$

ここで、 $n_{zi} = c/v_i$  ( $i = 1, 2$ )である。(9.5.15)式及び(9.5.16)式において  $E_{DC} \rightarrow 0$  とすると、D. A. Ehst の求めたDC電場を無視した場合の  $j_{RF}$ ,  $P_d$  に帰着する。

また、バルクプラズマ電流密度  $j_r$  は、

$$j_r = \text{env} \int_{\text{bulk}} v f dv \sim \eta^{-1} E_{||} \quad (9.5.17)$$

となる。正味のプラズマ電流密度  $j_p$

$$j_p = \text{env} \int v f dv \quad (9.5.18)$$

であり、(9.5.15)式と(9.5.17)式との和で表わせる。

(9.5.17)式をトーラス方向に沿って線積分を実行する。すなわち、 $\int_0^{2\pi R} \eta j_r dl = \int_0^{2\pi R} E_{||} dl$  である。これは次のように変形できる。

$$\int_0^{2\pi R} \eta j_r dl = \int_0^{2\pi R} (j_r S) \frac{\eta}{S} dl = I_r R_p \quad (9.5.19)$$

また、 $\int_0^{2\pi R} E_{||} dl = 2\pi R E_{||}$  はループ電圧  $V$  に等しい。更にマックスウエル方程式を用いて、

$$\int_0^{2\pi R} E_{||} dl = \int \nabla \times E_{||} ds = -\frac{\partial}{\partial t} \int B \cdot ds = -\frac{\partial}{\partial t} (\Phi + L_p I_p) \quad (9.5.20) \\ = V_{ex} - L_p \dot{I}_p$$

となる。(9.5.19)式と(9.5.20)式より

$$L_p \dot{I}_p + R_p I_p = R_p I_{RF} + V_{ex} \quad (9.5.21)$$

を得る。

RFパワー ( $P_d$ ) 及びOHコイルパワー ( $P_{OH}$ ) には熱的パワーと電磁氣的パワーの両方が含まれている。熱的パワーはプラズマ加熱に使われるが、電磁氣的パワーは電磁エネルギーとしてプラズマに蓄積される。パワーバランス方程式は熱的パワーに関するバランス式であり電磁氣的パワーを含まない。従って、RFパワー及びOHコイルパワーバランス方程式に入れる場合、電磁氣的パワーを差引いておく必要がある。

パワーバランス方程式は、 $t \gg \tau_E$  の近似の下では定常解を求めれば十分である。パワーバランス方程式は

$$(1 - G_e) P_\alpha + P_{ei} - P_{xi} = 0$$

$$G_e P_\alpha + P_d + V_{ex} I_p - L_{po} I_p \dot{I}_p - P_{ze} - P_{sy} - P_{br} - P_{ei} - P_{imp} = 0 \quad (9.5.22)$$

である。RFのみでプラズマ電流を立上げる場合には  $V_{ex} = 0$  であり、再充電期には  $L_{po} \dot{I}_p I_p = 0$  になる。

数値計算をする場合、プラズマ密度  $n_e$  は一定として、(9.5.15) 式 (9.5.16) 式より  $j_{RF}$ ,  $P_b$  を求め、 $j_{RF}$  を (9.5.21) 式に代入し、 $P_d$  を (9.5.22) 式に代入し (9.5.22) 式を解いて、プラズマの時間発展は (9.5.21) 式から求める。

## (2) プラズマ電流立上げフェイズ

プラズマ電流立上げ期において、プラズマ電流  $I_p$  は 0 から  $I_p^{RF} = 4 \text{ MA}$  まで立上げるとし、平衡コイルからのプラズマへのフラックス供給を  $\psi = 10.6 \text{ V} \cdot \text{s}$ ,  $n_e = 3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  を一定に維持する運転シナリオを解析する。RF スペクトルの屈折率の上限  $n_{z1}$  をパラメータとしてパワーバランス方程式からプラズマ温度を求め、それをもとに RF 注入エネルギー  $E_s$ , 立上げ時間  $t_s$  等を評価する。

Fig. 9.5.2-2 に解析結果であるプラズマ立上げ期におけるプラズマパラメータの時間変化を示し、プラズマパラメータの時間発展の機構を説明する。プラズマにパワー  $P_b$  が吸収されると電流が駆動されると同時に電磁誘導が働いて DC 電場  $E_{II}$  が発生しバルクプラズマ電流  $I_r$  が流れ、RF が電流を駆動しようとするのを阻止する。この 2 つの競合作用で駆動電流  $I_{RF}$  が決まる。DC 電場は  $L_p / R_p$  の時定数で減衰しようとするが、DC 電場が減少すると駆動電流が増加し (DC 電場の減少に伴ない電流駆動効率は増加する)、再び電磁誘導が働いて DC 電場が減少するのを防げる。この結果、DC 電場の減衰時間すなわちバルクプラズマ電流の減衰時間は  $L_p / R_p$  より長くなる。プラズマ電流は (9.5.18) 式より  $I_p = I_{RF} + I_r$  である。バルクプラズマ電流  $I_r$  の減衰が遅く、かつ、駆動電流  $I_{RF}$  は DC 電場を考慮することにより小さくなるのでプラズマ電流の立上がりが DC 電場を無視した場合に比べて遅くなる。

尚、Table 9.5.2.1 に対象としたプラズマパラメータを示す。

Fig. 9.5.2-2 に RF 注入エネルギーと立上げ時間の屈折率  $n_{z1}$  依存性を示す。立上げ時間は DC 電場の無視した場合の  $t_s = 100 \text{ s}$  に比べて、Fig. 9.5.2-3 で述べた理由により立上げ時間が延びることから RF 注入エネルギー  $E_s = \int_0^{t_s} P_d dt$  は DC 電場を無視した場合より増大する。

Fig. 9.5.2-3 に、プラズマ温度  $T_e$ , RF 駆動電流  $I_{RF}$ , DC 電場  $E_{II}$  の屈折率依存性を示す。Fig. 9.5.2-3 はプラズマ電流が  $I_p = 4 \text{ MA}$  に到達した時のプラズマパラメータの値を示している。 $n_{z1}$  が大きくなると (9.5.15) 式の  $\exp(\quad)$  の項から  $j_{RF}$  をあるレベルに保つにはプラズマ温度  $T_e$  が小さくなる。低密度  $n_e = 3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  では正味のパワー損失は  $T_e$  が小さくなるにつれて小さくなるので、パワーバランスを満すために吸収パワー  $P_d$  が小さくなる。逆に、 $n_{z1}$  が小さくなると  $T_e$  が大きくなり、正味のパワー損失が増えるので  $P_d$  は大きくなる。DC 電場は (9.5.17) 式から  $E_{II} = \eta j_r$  である。

DC 電場を考慮すると、無視した場合に比べて RF 注入エネルギー及び立上げ時間の評価が増大するが、 $Z_{eff}$  を増加させることにより低減することができる。屈折率を  $n_{z1} = 5$ ,  $Z_{eff} = 5$  に選定すると  $T_e = 1.8 \text{ keV}$ ,  $t_s = 110 \text{ s}$ ,  $P_d = 8 \text{ MW}$  を得る。これにより、立上げ時間を従来設計仕様値  $100 \text{ s}$  と同程度まで低減できる。

### (3) プラズマ電流立上げフェイズの運転制御

制御変数はプラズマ密度・温度・駆動電流である。操作変数は、プラズマ密度制御についてはガスパフ量、プラズマ温度についてはLHRFパワー、駆動電流制御については屈折率  $n_{z1}$  である。

プラズマ電流立上げフェイズでは、Fig. 9.5.2-1の立上げパターンに従い、LHRFパワー、屈折率、ガスパフ量を制御する。

Fig. 9.5.2-4に本制御システムの概念を示す。プラズマ電流計測器（例えば、ログスキーコイル）、プラズマ温度計測器（例えば、レーザー散乱）、プラズマ密度計測器（例えば、マイクロ波計測）で計測されたプラズマ電流、温度、密度をもとに、あらかじめ計算された電流、温度、密度の目標値との差を計算し、制御演算を行って、高周波パワー、屈折率、燃料供給率を求め、それに従い高周波パワー入射装置、移相器、燃料供給装置を駆動する。

## 9.5.3 燃焼制御

### (1) 制御対象の定義

核融合炉では自己点火条件を越えるとアルファ加熱パワーが全損失パワーより大きくなり、この差がプラズマ温度を押し上げ、プラズマ温度が上がるとその分だけ核融合反応出力が増加するのでアルファ加熱パワーが増え、更にプラズマ温度を上げることとなる。また、自己点火条件から下がると、この逆となる。これは、現在考えられているプラズマ閉じ込めの比例則には温度依存性がないので、プラズマの熱的変動にも自己制御作用がないことを原因としている。このように、自己点火条件にあるプラズマは熱的不安定平衡点にあり炉出力のフィードバック制御が必要となる。但し外部から常時加熱を必要とするすなわちイグニッション条件には至らない駆動型核融合炉の場合には、加熱装置を主体とした制御方式で温度制御ができるので出力制御が容易である。また、FERが $\beta$ 値限界近傍で運転される場合、バルーニング不安定により閉じ込め時間に温度依存性が現われ、熱的に安定となって制御の必要性がなくなるという可能性も指摘されている。

プラズマ温度を変化させる外乱としては、鋸歯状波振動とかフィッシュボーン等のMHDアクティビティが挙げられよう。例えば鋸歯状波振動が発生すると、密度分布、温度分布が平坦化し、核融合出力が低下する効果が考えられる。このような外乱が大きいと、制御手段によっては対応できなかったり、できても制御パワーが非現実的なものになる可能性もあろう。

### (2) 制御方式の比較

核融合反応出力は

$$P_f = n_T n_0 \langle \sigma v \rangle_f$$

で与えられ、反応率係数  $\langle \sigma v \rangle_f$  はプラズマ温度  $T_i$  の2.5乗に比例する。したがって  $P_f$  は密度  $n_T$ 、 $n_0$ 、温度  $T_i$  の動向に左右されるが、これらの量のダイナミクスはプラズマの粒子のエネルギーバランスで記述され、時定数は閉じ込め時間 ( $\tau_E$  あるいは  $\tau_P$ ) のオーダーとなる。FERでは1-2秒のオーダーである。

したがって、制御対象が比較的ゆっくりしているので、制御システムとしては速い応答が要求されることはないので比較的設計が楽になる反面、もともと dynamically に不安定な系を

フィードバックによって安定化させる点で独特の困難さが生ずる。

現在までに種々の燃焼制御法が提案されてきたが、これといった決定版は未だ定まっていないといつてよかろう。今までに提案されている主な制御法としては、(1)トロイダル磁場リップル、(2)不純物注入、(3)燃料注入排気、(4)断熱圧縮膨張、(5)水素注入などが挙げられる。

Table 9.5.3 - 1 にこれら 5 方式の特徴をまとめた。

#### 9.5.4 ディスラプション制御

##### (1) 制御対象の定義

トカマクプラズマで発生するディスラプション（破壊性不安定性）は、トカマク放電の途中で、プラズマ電流が瞬時にしゃ断し、平衡を失ってしまう現象である。このディスラプションは、プラズマ密度を上昇させるとき、あるいは、プラズマ電流を上昇させ安全係数を低くするときに発生し、トカマクプラズマの高ベータ化をさまたげる要因の一つとなっている。また、トカマク型核融合炉の設計に際しても、ディスラプション発生時の第一壁への熱負荷や、周辺構造物への電磁力衝撃が設計上の大きなあい路となっている。

ディスラプションの発生原因の究明については、近年急速な進展が見られ、モード数の異なる複数のテアリングモード不安定性（抵抗性不安定性）の非線形相互作用によって、磁気面構造が急速に破壊されるとの見方が有力になってきた。すなわち、モード数  $m=2, n=1$  および  $m=3, n=2$  のテアリングモードが成長し、その非線形飽和によって形成される磁気島が、その端を接触し合う程度の大きさになると、相互作用を起しディスラプションに進展するというものである。ここで  $m$  はトロイダルモード数、 $n$  はポロイダルモード数を指す。モード数  $m=2, n=1$  と、 $m=1, n=0$  の両モードの相互作用あるいはリミターとの相互作用によるという見方もある。いずれにしても、有理面  $q(r)=2$  の周辺に形成される  $m=2, n=1$  モードの磁気島の存在が、ディスラプションを誘発する原因となっている。

##### (2) 制御方式の比較

したがって、この  $m=2, n=1$  のテアリングモードによって形成される磁気島を何らかの方法で小さくあるいは消去することができれば、ディスラプションの発生は防止できることになり、プラズマの閉じ込め性能の向上あるいは核融合炉の工学設計の観点から、その効果は大きいと考えられる。テアリングモードは、もともとプラズマの平衡電流分布によって不安定か安定かが決るが、現在のトカマク実験で得られる中心集中型の電流分布では、必ず不安定になってしまい、プラズマ中に磁気島が形成される。そのため、これまで何らかの外部的手段によって磁気島を消失させ、ディスラプションを防止する試みおよび提案がなされてきた。Table 9.5.4 - 1 にその比較を示す。TO-1 や、WV11-A では、ヘリカルコイル ( $m=2, n=1$ ) によって磁気島を抑制する実験が出われ、ディスラプション防止の原理確認が行われた。JIPP T-II では、プラズマ電流の第 2 段立ち上げによって電流分布を平坦化させ磁気島を抑制し得ることが示された。しかしながら、これらの方法は、核融合炉への応用を考える場合、前者はコイルスペースの問題、後者は高温プラズマでの電流浸透の問題から、適合性は乏しいと考えられる。

より最近になって、Chan らによって電子サイクロトロン波を用いたプラズマ中への局所加

熱によって磁気島を抑制し得るという提案がなされた。局所加熱によって、磁気島周辺の局所電流分布を変化させ、磁気島を抑制しようというものである。この高周波という外部的手段によって、磁気島を抑制するという考え方は、核融合炉への適合性という観点からは魅力的である。吉岡らによっても高周波電流駆動を用いたディスラプション防止制御が提案されている。

(Nucl. Fusion 24 (1984) 565)。また、これらの理論的提案と並行して、高周波(LHおよびECH)を用いたディスラプション防止実験が近年さかんに行われている。Table 9.5.4-2にその一覧を示す。

### (3) 高周波によるディスラプション制御方式

磁気島の生成・消滅は、Rutherfordの準線形理論によって精度よく記述される。しかしながら、高周波が存在するときの磁気島は相当異なった挙動を示すことが吉岡らによって明らかにされている。すなわち、高周波によって引き起こされる磁気島内のトロイダル電場の不均一性が、磁気島の消長に大きく影響するためである。本シミュレーションでは、準線形理論を拡張し、上述の不均一電場効果を含めた形でモデル化する。さらに、この効果を応用して、ECRH(電子サイクロン共鳴加熱)やLH(低減混成共鳴加熱)波を用い実験に磁気島を抑制できるかどうか調べるために、磁気面平均したエネルギー輸送モデルや磁束拡散モデルを導き、数値シミュレーションを行う。Fig. 9.5.4-1に開発したシミュレーションコードの構成を示す。大型トカマク(主半径 $R=3\text{ m}$ 、副半径 $a=1\text{ m}$ 、プラズマ中心温度 $T_e(0)=2\text{ keV}$ )を対象とし、磁気島の大きさ $W$ が $W/a=0.2$ となる典型的な初期電流分布を仮定し、高周波印加時の磁気島の抑制挙動を解析した。プラズマ諸元をTable 9.5.4-3に示す。高周波の入射方法としては、(I). ECRH正常波による磁気島内局所加熱、(II). LH電流駆動による磁気島周辺の電流分布制御、(III). パルス変調LH電流駆動による磁気島内局所電流駆動、(IV). ECRH異常波による磁気島内局所電流駆動の4種類を考えた。Table 9.5.4-4に各方式の詳細を、Fig. 9.5.4-2に代表的結果を示す。高周波入射電力は、2 MWである。上記(I), (II)の方法で所要時間 $t/t_{\text{sat}}=0.6$ 、(III), (IV)の方法で $t/t_{\text{sat}}=0.3$ で磁気島を消滅させ得る。ここで、 $t_{\text{sat}}$ は高周波なしで、磁気島が大きさ零から、飽和に至るまでに要する時間である(図中の500 mSのこと)。この結果は、磁気島内の不均一電場効果を考慮しないChanらの従来研究に比べ、3~6倍速い。以上により、高周波によって磁気場を抑制でき、ディスラプションを防止し得る可能性を示した。

つぎに、以上で述べた基本方式を具体化するための検討(計測項目、制御Actuator)を行う。制御は基本的には、磁気島が急拡大しないかどうかを実時間で監視し、磁気島の大きさを示す磁気プローブ信号(いわゆるプリカーサ)が一定値を越えたときに、RFを作用させてディスラプション防止動作に入る。いわゆるイベントオリエントな制御方式をとるものとする。

この実時間モニタに必要な計測物理量としては、磁気島の大きさと磁気島の径方向位置である。磁気島の大きさは、磁気プローブによる1-30 kHzの揺動磁場信号 $\tilde{B}$ (いわゆるプリカーサ信号)に比例しているので、これをモニターすればよい。磁気島の径方向位置は、多チャンネルX線計測器で、プラズマ温度の断面二次元分布を計測することでわかる。この方式はアーベル変換を要するが、PLTのディスラプション計測で確立されており、信頼性はある。

Actuator サイドの様子は、上に述べた case 1 から 4 に至るそれぞれについて異なるが、い

れの場合も、高周波の到達位置を、磁気島の存在位置に一致させることが目標となる。case 1 と case 4 の ECRH を用いる場合、波の到達位置制御は、( ECRH 波の伝送を準光学空間伝送方式とするとして ) コルゲート板の角度制御によって、達成される。case 2 と case 3 の LH 波を用いる場合は、クライストロン上流の phase shifter 制御によるランチャー位置制御により、プラズマ中の波の屈折率をかえ、波の表面からの浸透深さを制御する。さらに、case 3 の LH のパルス変調の場合は、とくに、プラズマの反磁性回転の周波数 ( 先程の磁気プローブ信号の振動周波数のこと ) をモニターしてきて、それと同期するようにクライストロンの出力に変調をかける。この case 3 は制御がこの分複雑になるが、Fig. 9.5.4 - 2 に示したごとく、ディスラプション防止の性能は、4 case のうちで最もよい。

今後は、核融合プラズマに対する各 case の制御性についての検討を行う必要がある。

#### (4) NBI によるディスラプション防止

以上述べた高周波入射によるディスラプション防止に対して、NBI によるディスラプション防止方法が考えられている。これは、負イオン源を用いた中性子ビーム入射で、良好なビーム発散性を利用してプラズマへのビーム入射位置を変えることにより、プラズマ電流分布を制御し、ディスラプション防止を行うものである。

ビームエネルギーおよびパワーはそれぞれ 500 keV および約 40 MW、プラズマ密度約  $10^{20} \text{ m}^{-3}$  において、本方式では約 0.1 A/W の効率が得られると考えられている。

## 9.6 制御システムの機能と構成

FER 実験炉の全体制御システムの構成を Fig. 9.6 - 1 に示す。FER 全体制御システムは、各制御設備に機能を分散させ、各個別制御装置毎に構成し、中央制御盤は統括的運転および実験を行う。

中央制御盤としての制御装置を以下に示す。

- ① 実験中央制御盤
- ② 運転中央制御盤
- ③ 保護インターロックシステム
- ④ タイミングシステム
- ⑤ 計算機システム

次に、各制御装置の機能と構成について述べる。

#### (1) 実験中央制御盤

実験中央制御盤は、プラズマ放電時の FER の運転制御を統括するもので、放電制御計算機とのマンマシンコミュニケーションを行う制御盤である。本制御盤は運転員の操作が集中するため、デスク型とする。主な操作監視内容は、プラズマ放電条件設定、加熱条件設定、計測条件設定、放電結果データの表示、非標準事態の解析結果の表示等である。

以上の機能を実現するため、本制御盤には放電制御計算機システムによって制御される CRT およびキーボード等の計算機とのインターフェース装置を備える。

## (2) 運転中央制御盤

運転中央制御盤は、プラズマ放電以外のFER各設備の運転制御を統括するもので、運転制御計算機システムとのマンマシンコミュニケーションと、個別制御設備とのハードワイヤード信号の授受を行う制御盤である。主な操作監視内容は、運転モード移行操作、各設備の運転開始の許可、禁止、各種記録作成等である。

以上の機能を実現するため、本制御盤には運転制御計算機システムによって制御されるCRT、運転員の操作する釦スイッチ、表示装置等を備える。

## (3) 保護インターロックシステム

保護インターロックシステムは、FER本体の重大損傷につながる事故を回避するとともに、事故拡大を防止するためのインターロック関係の処理信号を、計算機システムを介さず、直接制御対象に対して送出するシステムである。したがって基本制御方式は、ハードワイヤード方式とする。

保護動作には、各設備内で完結するものと設備間で協調をとる必要のあるものがあるが、本保護インターロックシステムは、後者の設備間保護協調を行う場合の保護運動処理機能を有するものである。

また、プラズマ放電に関連した保護運動（プラズマディスラプション、プラズマ不着火等に対するもの）に関しては、放電制御／プラズマ制御計算機システムとの協調を行う。

## (4) タイミングシステム

タイミングシステムは、プラズマ制御において、再現性の良いプラズマを得るため、各設備機器に対する同期信号としてのタイミング信号を生成する。タイミング信号は、あらかじめ放電制御計算機が定めた時間間隔で順次必要な信号を生成するとともに、必要に応じてプラズマ制御計算機システムが実時間で生成する。タイミング信号の時間精度は $10^{-6}$ 以上、時間設定分解能は1mS程度を考える。

## (5) 計算機システム

計算機システムは、FER全体の運転監視制御からプラズマ炉心制御に亘る全体制御システムの中核となるもので、下記のシステムから構成される。

- ① 運転制御システム
- ② 放電制御システム
- ③ プラズマ制御システム

## ① 運転制御システム

FER全体のプラント運転監視をサポートするためのシステムであり各設備からのプロセスデータを収集し、中央制御盤のCRTに表示して中央集中監視を行うとともにFER全体としての運転シーケンスの管理を行いプラント全体の統括監視機能を実行する。

またプラントの運転管理に必要な各種情報を収集し、日報月報等の記録を作成し、FER全体の運転管理機能を実行する。運転制御システムの機能概要をTable 9.6-1に示す。

## ② 放電制御システム

プラズマ放電を実行するためのシステムであり、実験目的に対応してプラズマ制御システム、タイミングシステム、各設備制御システムを統括制御し、プラズマ放電を実行すると共

に、放電結果データを収集し、表示、記録する。放電制御システムの機能概要を Table 9.6-2 に示す。

### ③ プラズマ制御システム

プラズマ放電時に実時間でフィードバック制御を行うシステムであり、プラズマの位置形状を制御しプラズマの保持を行うプラズマ位置形状制御システムと制御目標に合わせてプラズマの特性を制御するプラズマパラメータ制御システムから構成される。

Fig. 9.6-1 にプラズマ制御システムの構成図を示す。プラズマ制御用の計算機は、入出力処理、データ処理を行うプロセッサとベクトル演算プロセッサから構成される。

## 9.7 まとめ

核融合実験炉 FER の制御システムに関し、運転方式を設定し、システム構成の検討およびプラズマ基本制御方式の検討を行った。今次設計では、FER 制御システムの大枠を見通すことを主体として検討を進めたが、今後プラズマや本体側からの詳細な要請、各コンポーネントの仕様の明確化に対応して、制御システム側の詳細な仕様を詰めて行く必要がある。



Table 9.3-1 Operating status of subsystem and operation mode

設備 運 轉 状 態	運転モード		停止	運 転 準 備	真 空 排 気	ペ ー キ ン グ	冷 凍	放 電 洗 浄 準 備	放 電 洗 浄	実 験 準 備	実 験
	電力設備 (無停電電源)	制御設備 (全体制御設備を含む)									
計 装 空 気 設 備	計 装 空 気 設 備	計 装 空 気 設 備	○								
1 次 冷 却 設 備	1 次 冷 却 設 備	1 次 冷 却 設 備	○								
2 次 冷 却 設 備	2 次 冷 却 設 備	2 次 冷 却 設 備	○								
真 空 排 気 設 備	真 空 排 気 設 備	真 空 排 気 設 備	○								
液 化 冷 凍 設 備 (He系, N <sub>2</sub> 系)	液 化 冷 凍 設 備 (He系, N <sub>2</sub> 系)	液 化 冷 凍 設 備 (He系, N <sub>2</sub> 系)	○	貯液開始			本体冷却開始				
ペ ー キ ン グ 設 備	ペ ー キ ン グ 設 備	ペ ー キ ン グ 設 備	○			○					
ト リ チ ウ ム 設 備	ト リ チ ウ ム 設 備	ト リ チ ウ ム 設 備	○								
燃 料 圧 入 装 置	燃 料 圧 入 装 置	燃 料 圧 入 装 置	○								
T F C 電 源	T F C 電 源	T F C 電 源	○								
P F C 電 源	P F C 電 源	P F C 電 源	○								
加 熱 用 電 源	加 熱 用 電 源	加 熱 用 電 源	○								
加 熱 装 置	N B I	R F	○								
計 測 装 置	計 測 装 置	計 測 装 置	○								
本 体 分 解 移 動 シ ス テ ム	本 体 分 解 移 動 シ ス テ ム	本 体 分 解 移 動 シ ス テ ム	○								
操 作 ・ 制 御 の 時 間 オ ー ダ ー	操 作 ・ 制 御 の 時 間 オ ー ダ ー	操 作 ・ 制 御 の 時 間 オ ー ダ ー	数日~数箇月	数 日	1 週 間 程 度	1 週 間 程 度	~ 1 箇 月	数 10 分	数*10分/ms	数 10 分	数*10分/ms

(注) ○ : 起動  
● : 停止

\* TFC励磁は数10分の時間オーダー  
プラズマ制御はmsの時間オーダー

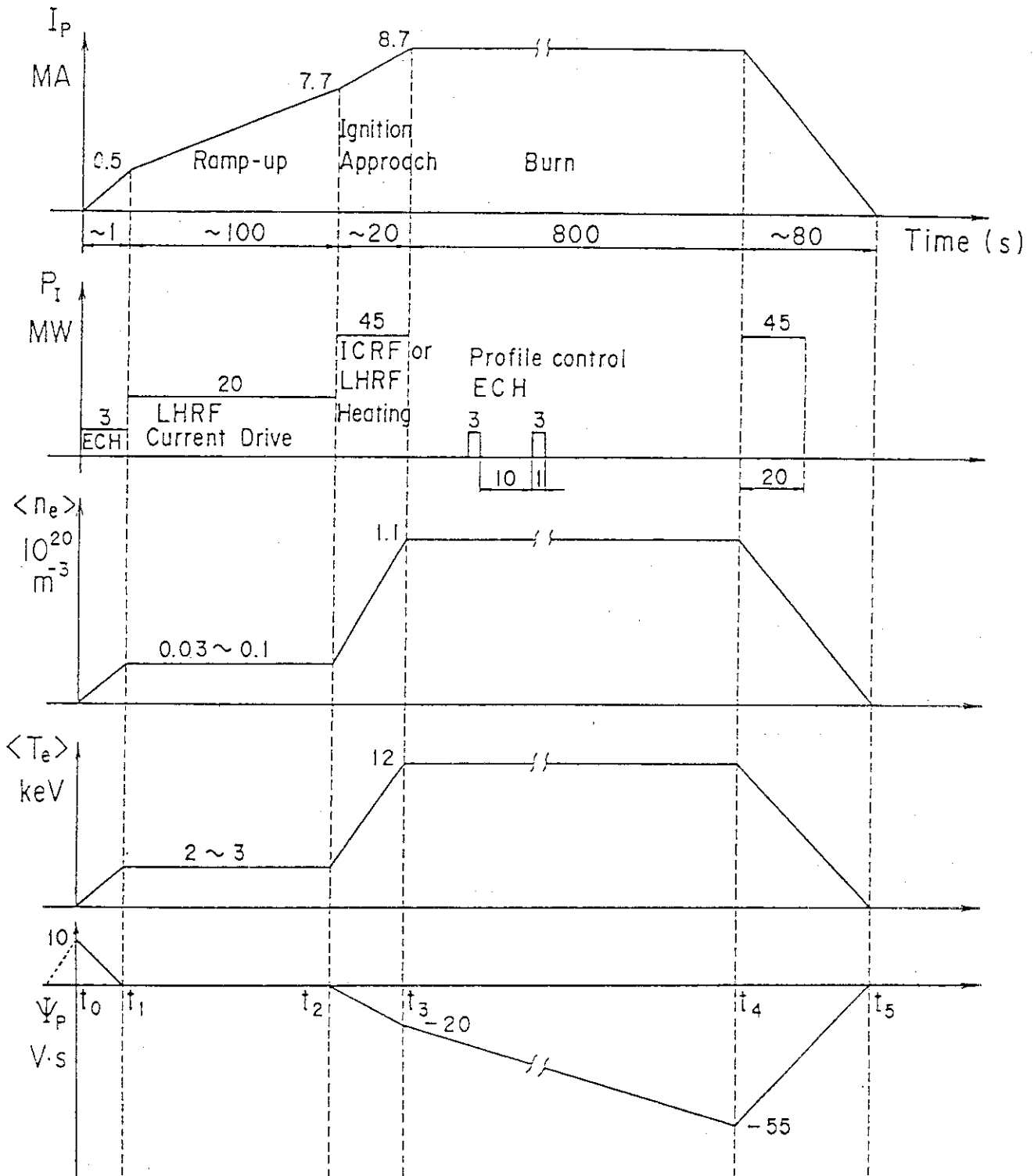


Fig. 9.3-1 (a) Operation scenario (Option C)

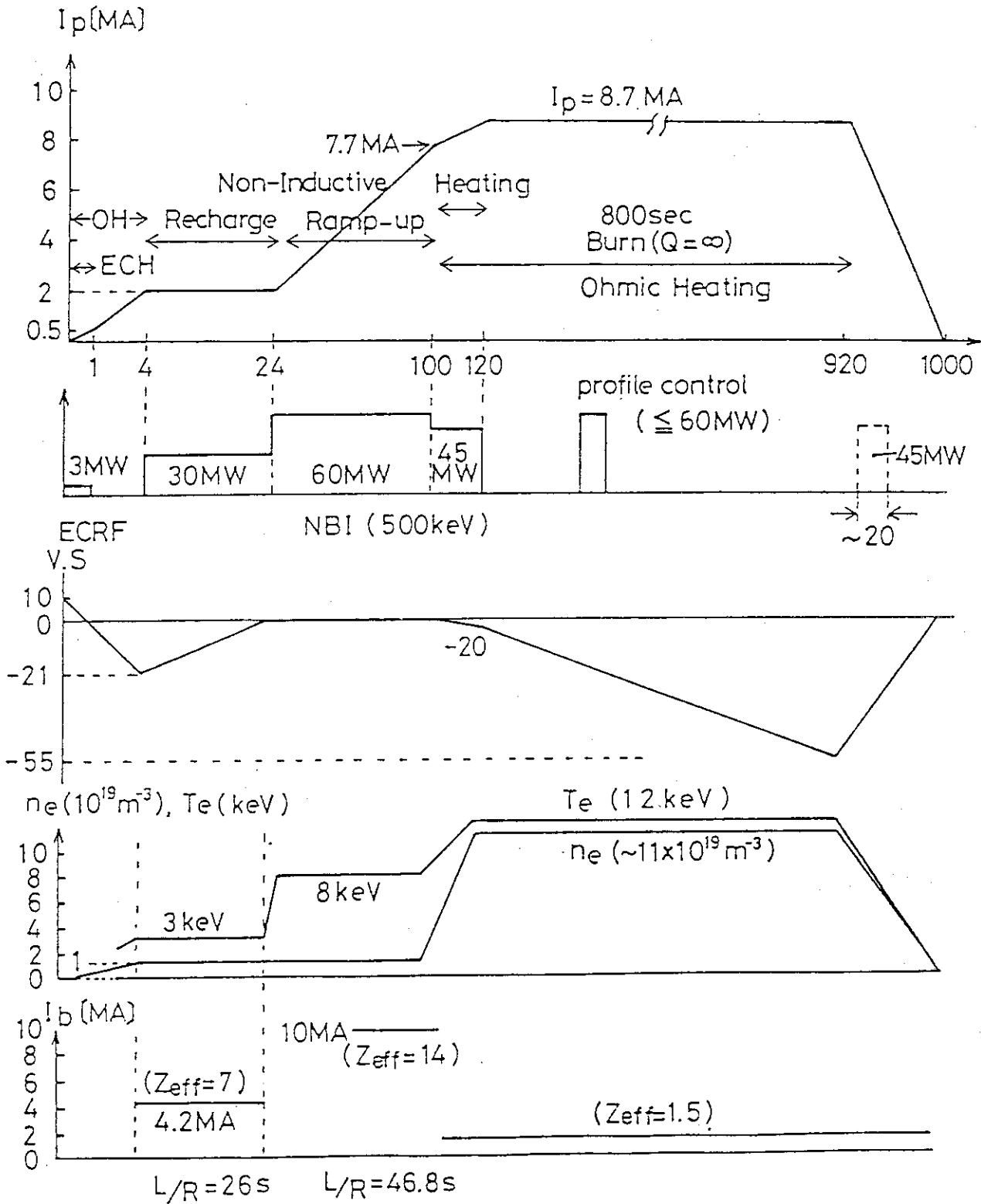


Fig. 9.3-1 (b) Operation scenario (NBI)

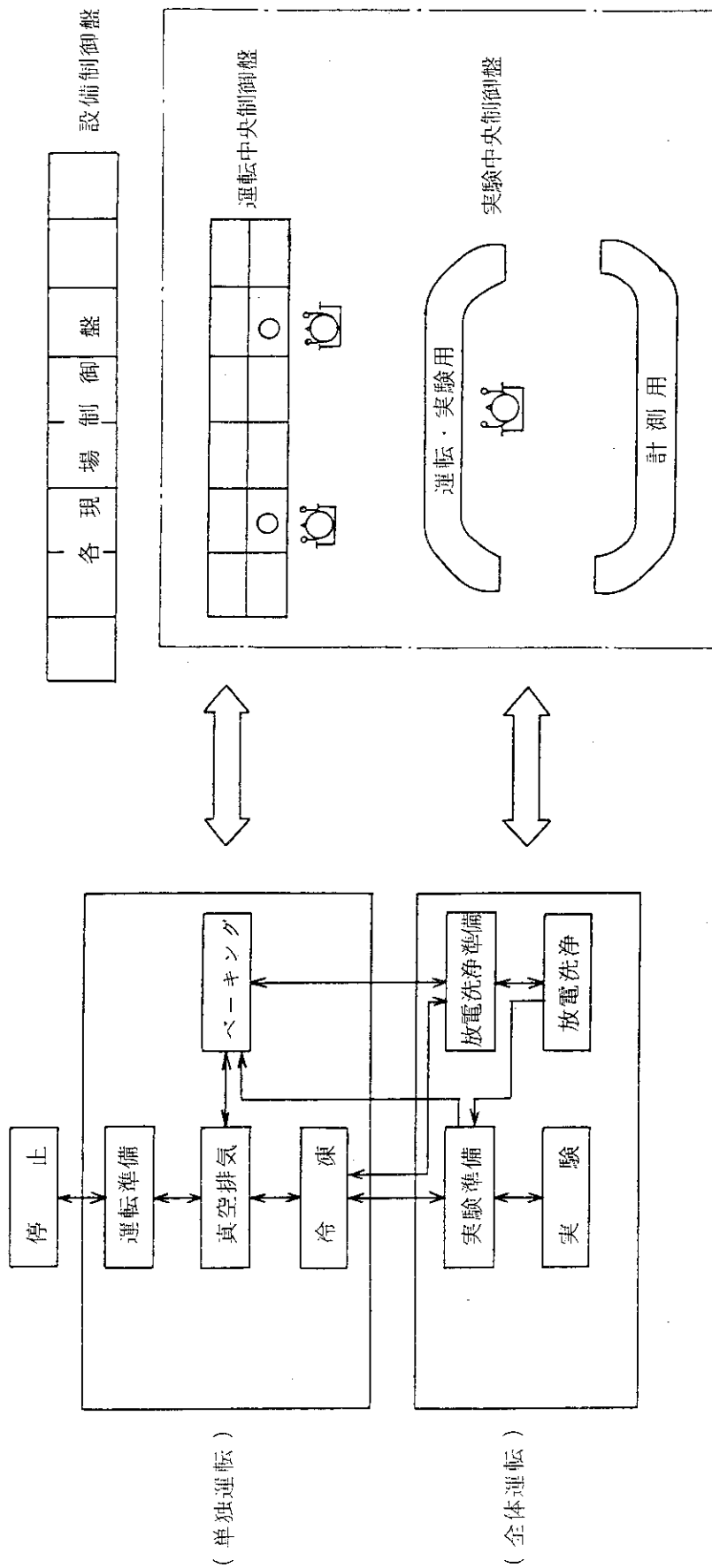


Fig. 9.4-1 Operation mode and total control system

Table 9.4-1 Comparison of observation methods

監視機・能	ハードワイヤード監視方式		CRT監視方式
	計器(指示計等)	ラオン表示 状態感/照光式BS グラフィック	
アナログデータ監視	① 常時監視可能 ② プラントの運転が多様化した場合、関連データの集中化が困難。 ③ 一点当りの画面専有面積が大。 ④ 計装システムの伝送ラインを使用しない場合、伝送系の遅れが無視できる。 ⑤ 計器異常が局所化可能。	_____	① 原則的に、オペレータの画面要求により表示 ② 監視の目的(制御/プラント監視)、プラント運転状態に応じて最適な情報、データの編集が可能 ③ 伝送系の遅れを考慮する必要がある。 ④ CRTのパックアップ機能が必要。
個別機器運転状態監視 (非、ポンプ等)	_____	① 常時監視可能 ② 表示用スペースが大。 ③ オペレータの操作と対応が取り易い。	① オペレータの画面要求により表示 ② 監視の目的(グラフィック/リスト)により、表示方式内容を編集可能。 ③ 情報量が大。
プラント集約運転状態監視 (運転モード)	_____	同上 但し、個別機器運転状態と比較して、表示項目が少なく、適用しやすく集中監視に適している。	同上 但し、情報量が少なく、CRTのメモリは少ない。

Table 9.4-2 Automatical operation

NO.	自動化項目	モード	備考
1.	冷却水ポンプの切替操作の自動化	自動/半自動	運転モード及び実験内容に応じて、運転負荷切替
2.	液化冷凍設備の貯液操作の自動化	自動	
3.	ベーキング温度制御	自動	
4.	真空排気設備の起動停止	自動	多数の排気ポンプ
5.	本体コイル超電導設備 自動化	自動/半自動	
6.	燃料圧入装置準備操作 自動化	自動	ペレット形成等
7.	MG補機起動～MGコースティ ング運転操作の自動化	自動/半自動	TFC-MG, PFC-MG, 加熱用MG
8.	定例試験、保安試験の 自動化	半自動	

E

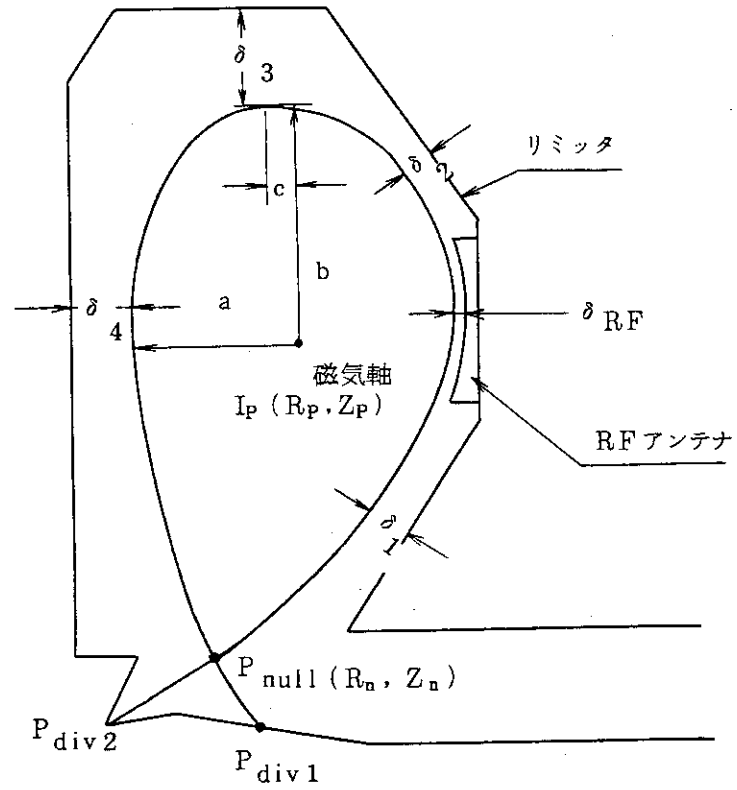


Fig. 9.5.1-1 Control parameter for the position and shape control of FER

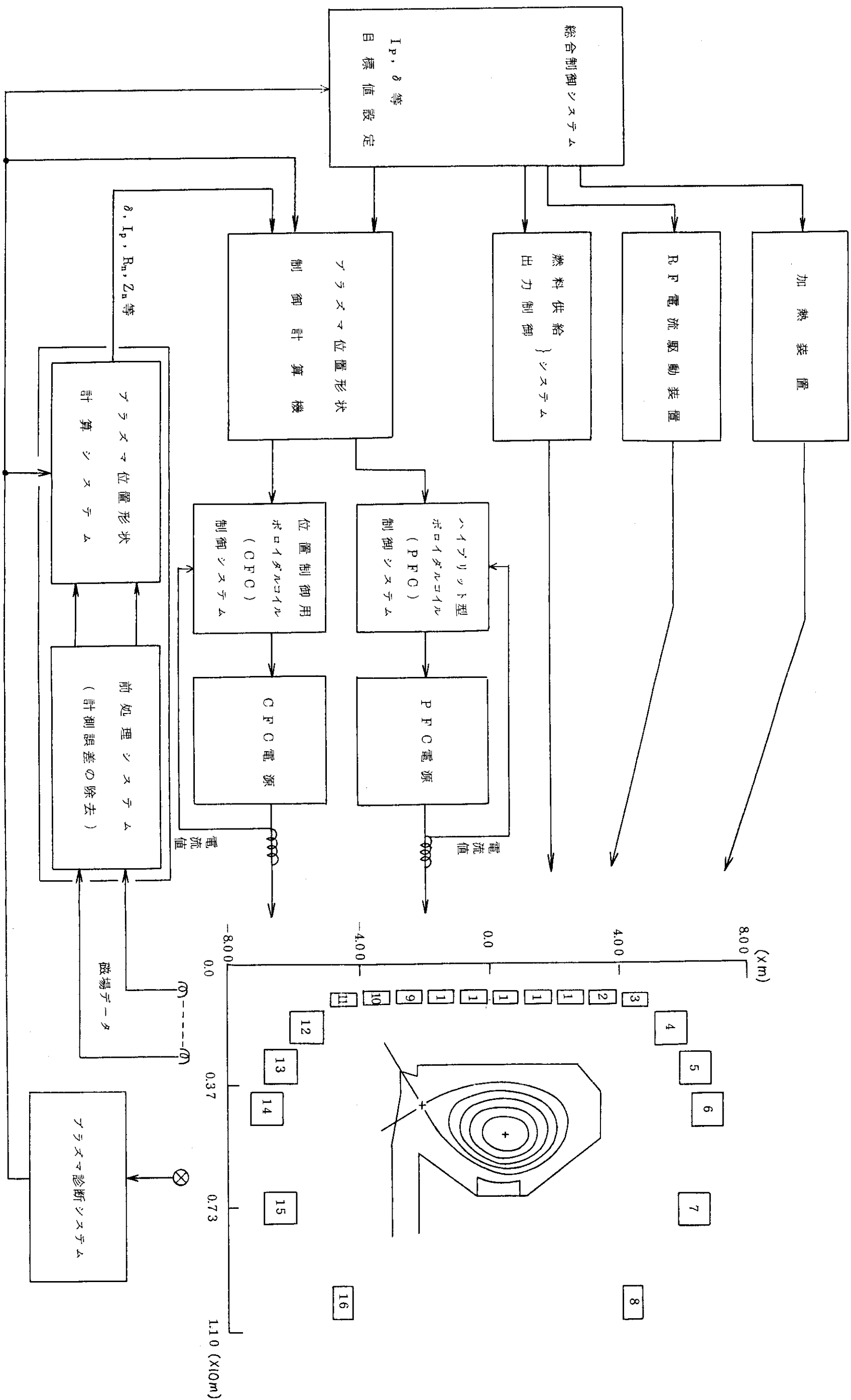


Fig. 9.5.1-2 Plasma control system



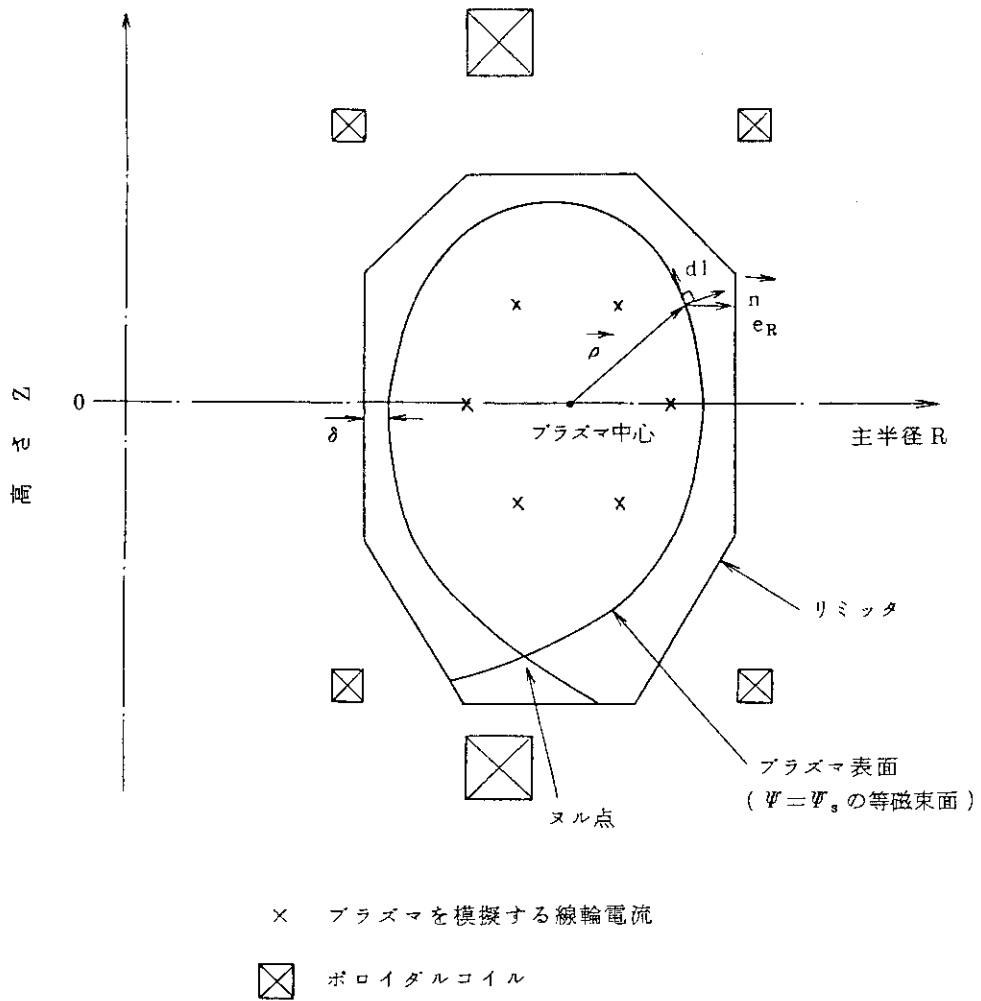


Fig. 9.5.1-3 Analysis of the control method 1

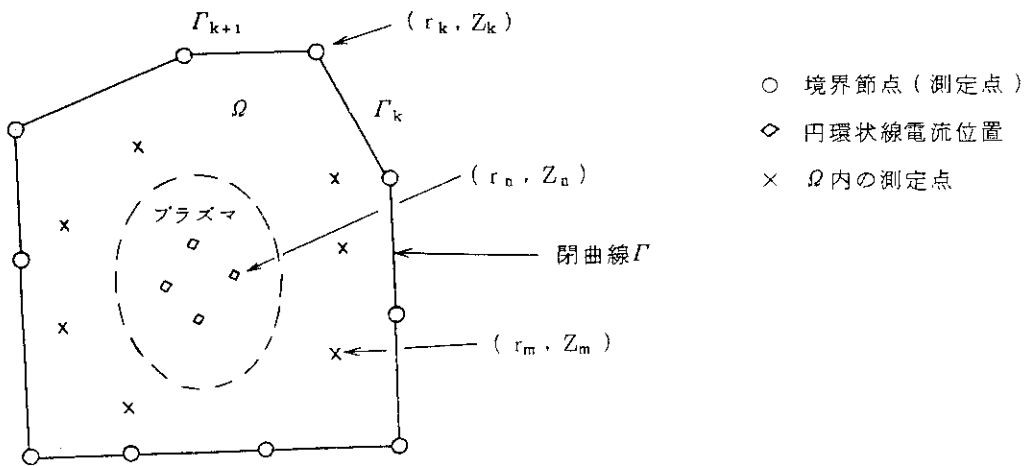


Fig. 9.5.1-4 Analysis of the control method 2

Table 9.5.2-1 FER plasma parameters for burning phase

	startup phase	recharge phase
$n_e$	$3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$	$3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$
$I_p^{RF}$	4 MA	4 MA
$n_{z1}$	5	5
$Z_{eff}$	5	5
$T_e$	1.8 keV	1.8 keV
$\tau$	110 s	250 s
$P_d^*$	8 MW	8 MW
$\bar{E}$	0.8 GJ	2 GJ
$V_{OH}$	0 V	-0.41 V

\* The RF power of 10 MW is set as the FER design parameter.

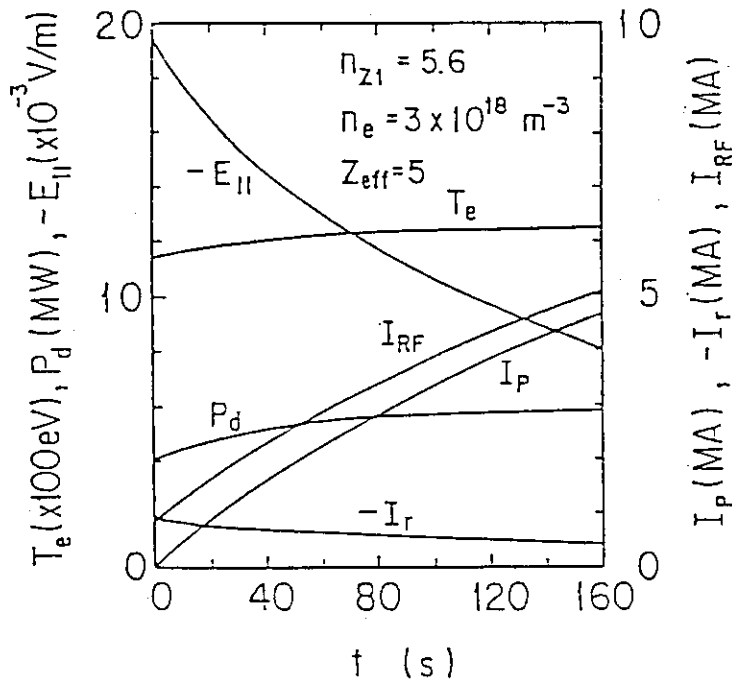


Fig. 9.5.2-1 The time evolution of plasma parameters for FER ramp-up phase

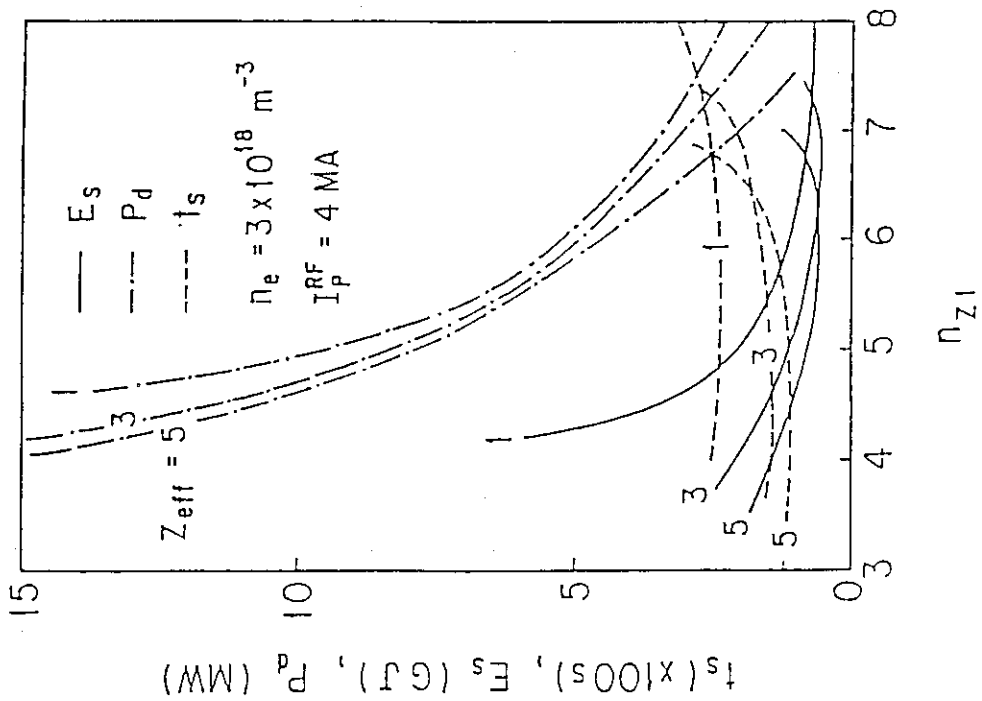
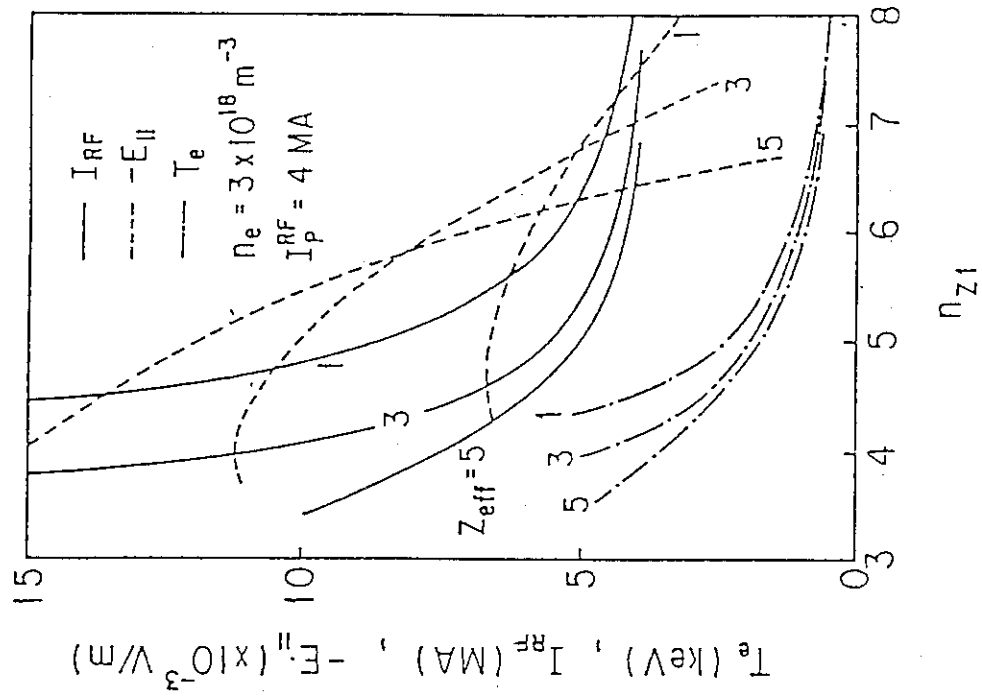


Fig. 9.5.2-2 The  $n_{z1}$ -dependence of ramp-up time, RF energy, and RF power for ramp-up phase

Fig. 9.5.2-3 The  $n_{z1}$ -dependence of electron temperature, RF current, and DC electric field, for the ramp-up phase

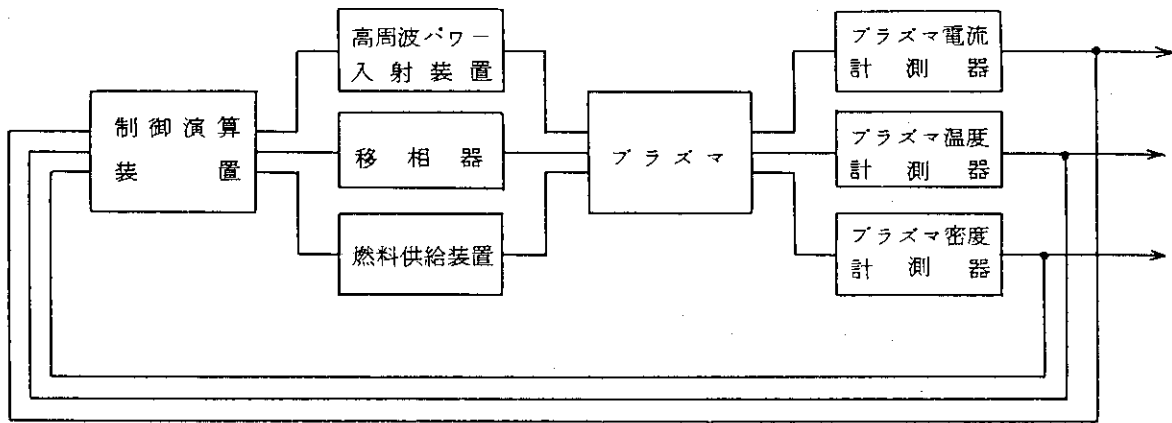


Fig. 9.5.2-4 Control system for the current drive

Table 9.5.3-1 Methods of the burning control

制御方式	特徴
(1) トロイダル磁場 リップル制御	理論的な解析によると、トロイダル磁場リップルによるイオンの熱伝導 $\chi_i \propto T_i^{-7/2}$ ( $T_i$ : イオン温度) なる依存性が予測された。また、トロイダル磁場リップルは高速荷電粒子 ( $\alpha$ 粒子) のロスを増加させる。(±0.8% のリップルで ~10% の $\alpha$ 粒子パワーロスをもたらす。) これらの効果に注目し、リップルを制御することにより燃焼制御を行なえる可能性がある。
(2) 不純物注入	不純物注入によってふく射を増加させ、エネルギー閉じ込め時を制御することによって、燃焼制御する。燃料注排気方式と同様、応答速度の検討を要する。
(3) 燃料の注入・ 排気	燃料粒子の注入・排気により密度を変化させ、燃焼制御を行なおうとするものである。ベータ値の限界近傍での運転について検討を要する。
(4) 断熱圧縮・膨脹	プラズマの断熱圧縮・膨脹により、プラズマ温度、核融合出力等を変化させ、燃焼制御を行うものである。圧縮・膨脹には、副半径のみのものと、主半径、副半径の圧縮・膨脹が考えられる。前者はトロイダル磁場を意図に変化させ、後者は、主半径方向に空間的余裕を確保する必要がある。
(5) 水素注入	最近提案された方法で (K. Maki, Fusion/Tech. 10 (1986) 70) 不純物注入とよく似た考えであるが、不純物特有の問題 (ふく射ロス, ディスラプション誘起等) を回避できる可能性がある。

Table 9.5.4-1 Stabilization of M=2 tearing mode

安定化手段		代表的マシン
ヘリカル コイル	ACヘリカル	TO-1 (1979)
	DCヘリカル	W VII-A (1980)
	局所ヘリカル	TORIUT-4 (1980)
速い電流立ち上げ		JIPP T-II (1981)
高周波	LH	PETULA-B (1985)
	ECRH	T-10 (1985)

Table 9.5.4-2 Desruption control by RF-injection

実験内容	マシン	安定化機構
ECRH局所加熱 (m=2安定化)	T-10 (1985)	電流分布制御 ( $d'(W)$ )
	TFR (1986)	
LH電流駆動 (m=2安定化)	JIPPT-II (1986)	電流分布制御 ( $d'(W)$ ) 同上
	PETULA-B (1986)	
LH電流駆動 (Sawtooth安定化)	PLT (1985)	磁気島内電流駆動 ( $I_J$ )
	ASDEX (1986)	電流分布制御 ( $q(o) > 1$ )
	ALCATOR-C (1986)	同上
	PETULA-B (1986)	磁気島内電流駆動 ( $I_J$ )

Table 9.5.4-3 Plasma parameters for the calculation

Parameter	Symbol	Value	Unit
Electron density	$n_e(0)$	$5 \times 10^9$	$m^{-3}$
Electron temperature	$T_e(0)$	$2 \times 10^3$	eV
Current density	$J(0)$	$2.44 \times 10^6$	$Am^{-2}$
Major radius	R	3	m
Minor radius	a	1	m
Toroidal field	$B_z$	5	T
Safety factor	$q(0)$	1.1	
Effective charge	$Z_{eff}$	3.0	

Table 9.5.4-4 Methods of RF-injection

Case 1	ECRH 磁気島中心局所加熱 ( $I_\eta$ )	正常波を低磁場側より垂直入射
Case 2	LHCD 磁気島外電流分布制御 ( $d'$ )	高 $n_{\parallel}$ ランチャーにより表皮駆動電流分布
Case 3	パルス変調 LH 磁気島内電流駆動 ( $I_f$ )	プラズマの反磁性回転に同期して断続
Case 4	ECRH 磁気島内電流駆動 ( $I_f$ )	異常波を高磁場側より斜め入射

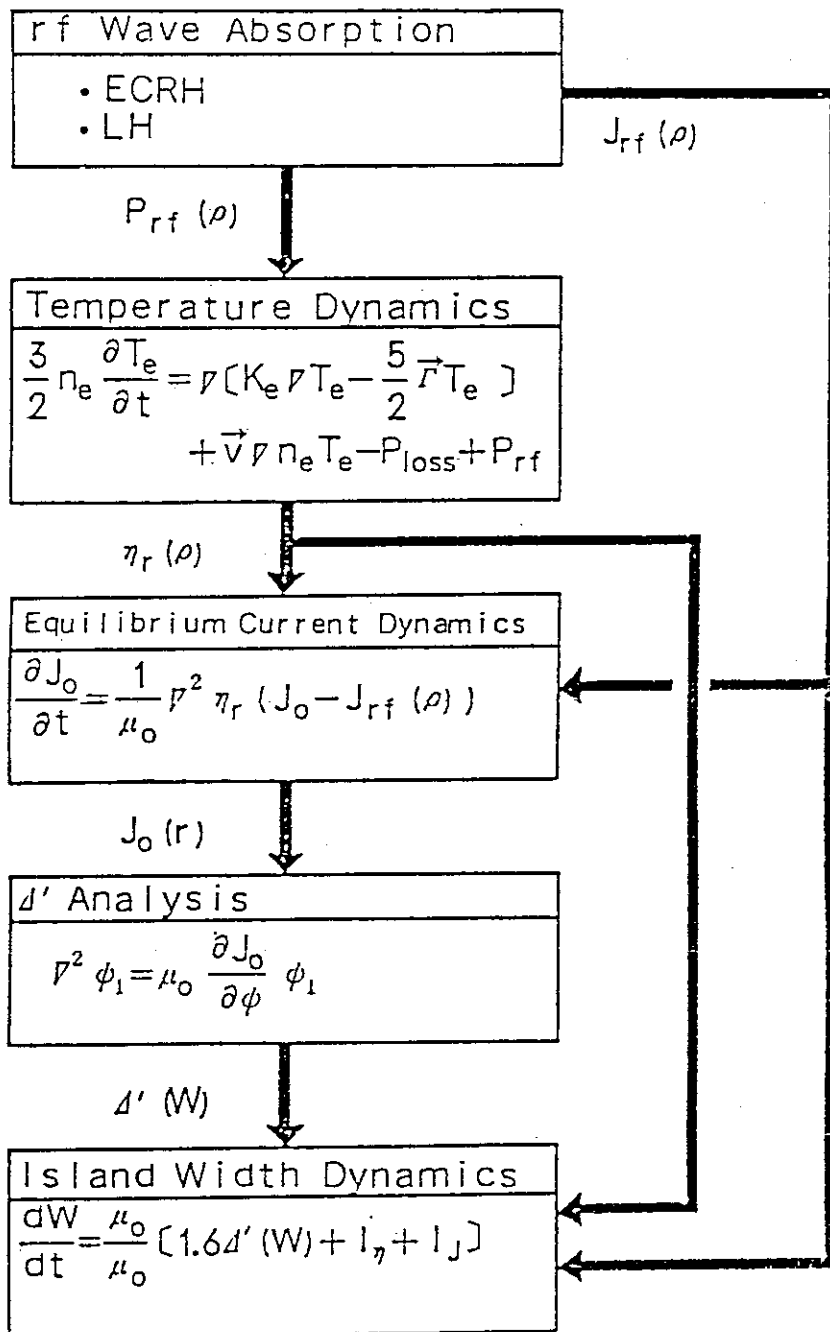


Fig. 9.5.4-1 Configuration of the simulation program



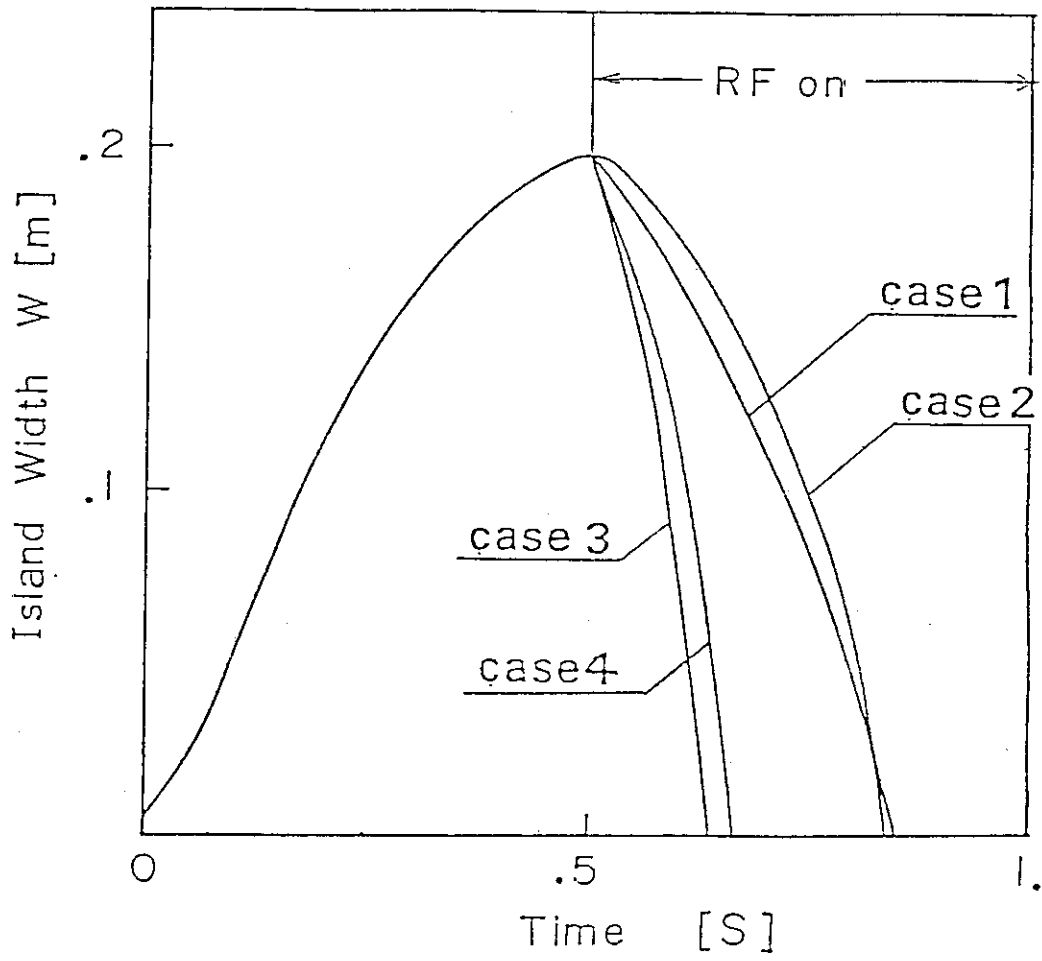


Fig. 9.5.4-2 Behavior of the magnetic island

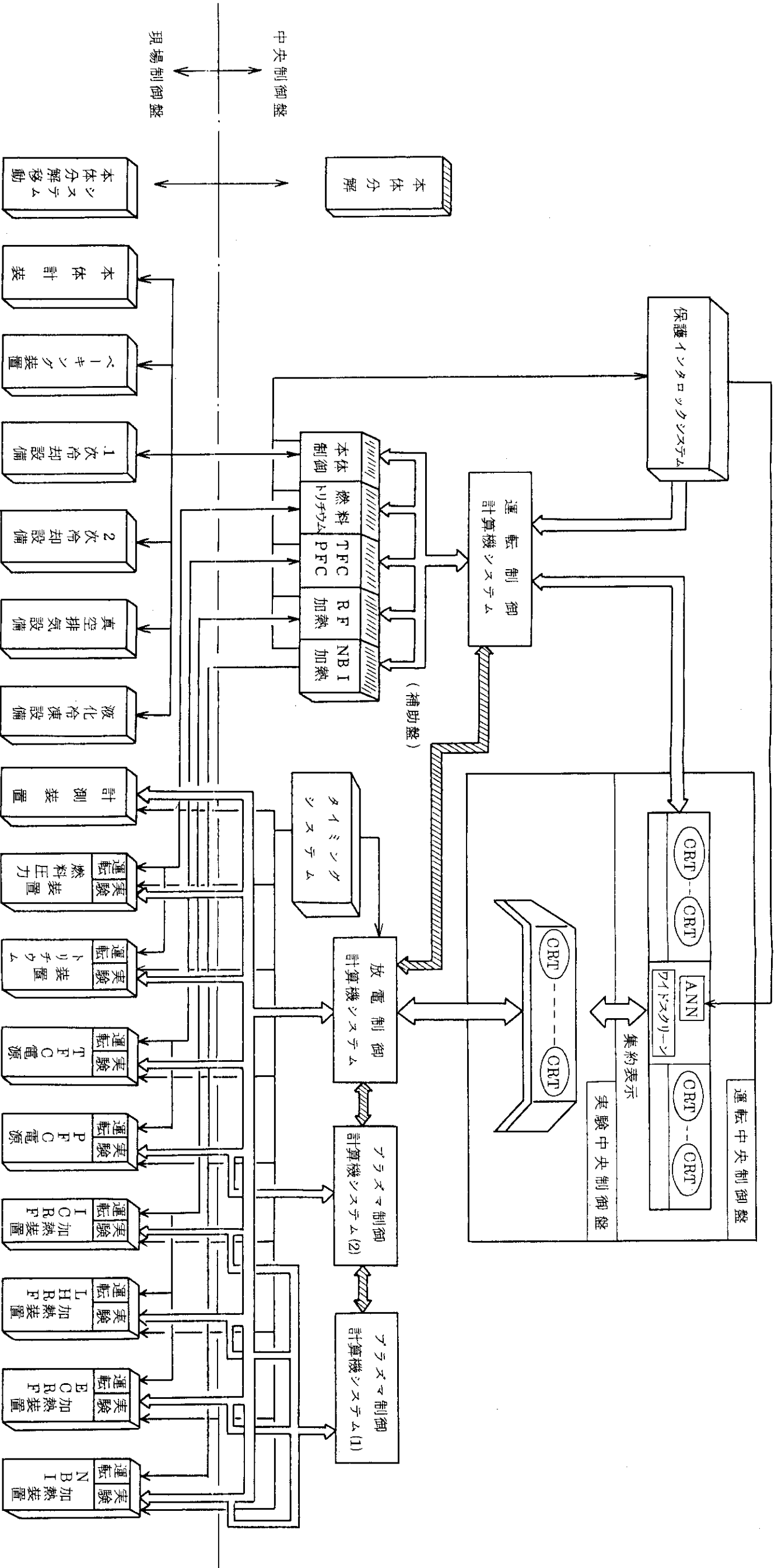


Fig. 9.6-1 Configuration of the control system of FER

Table 9.6-1 Function of the operation control system

No	機 能	機 能 概 要	備 考
1	プロセスデータ 収集・加工	各設備からアナログデータ、デジタルデータのプロセスデータを定期的又は、イベントで収集し、工学単位変換し、データの監視、トレンド記録、データの統計処理を行なう。	
2	監視及び検査	運転モード、運転条件、運転監視収集データを照合し、FER全体としての状態の検査を行ない、異常の場合は、運転中央制御盤に表示する。	
3	運転モード及び 設備運転の許可 禁止	運転モード、各設備の状態、運転監視収集データを照合し、運転モード以降のための検査及び各設備の運転開始の許可、禁止を行なう。	
4	設備情報提供	運転モード、他設備関連情報等、設備が、運転のために必要とする情報を提供する。	
5	非標準事態診断	放電中止等、非標準事態が発生した場合、非標準事態の内容を検出し、診断し原因解析及び、運転員に対する指示を行なう。	
6	記録作成	定周期記録、日報、月報、運転操作記録、警報記録、放電記録を行なう。	

Table 9.6-2 Function of the discharge control system

No.	機 能	機 能 概 要	備 考
1	放電条件設定 入力	放電を行なうため放電条件キャラクタCRT及び、グラフィックCRTにより設定入力する。又、設定結果の合理性検査を行なう。	
2	放電条件設定 入力	放電に先立って各設備に放電条件及び、プレプログラムの設定出力を行なう。	
3	放電前後検査	放電前に、放電条件の設定出力結果、設備の状態検査を行なう。又、放電後、放電結果に対する検査を行ない、放電継続可否を判断する。	
4	放電実時間制御 及び監視	操作員の放電開始指令を受けて、各設備へのタイミングの指令出力及びタイミングシステムのシーケンス監視など放電シーケンスの実時間制御と監視を行なう。	
5	放電データ収集	放電時の各種時系列データ、タイミングデータ等を収集し、各放電単位毎にデータの管理を行ないグラフィックCRT等に、結果の表示を行なう。	
6	放電データ処理 システムリンケ ージ	放電条件データ、放電結果データ等を、データ処理システムに送信し、放電結果データの管理を行なう。	

## 10. 電気システムの設計検討

合理的でかつコストの低減を図った電気システムを得るための一般的指針を述べ、こういった観点による ACS 炉の電気システム設計について記す。

### 10.1 システムの条件

プラントシステムの観点から考えると、合理的かつコストの安い電気システムとは次の条件を満たすようなものと言える。

- ① 受電容量、消費電力が小さい。
- ② 設備規模が小さい。
- ③ システム等の事故が発生した時に各機器の保護、生体への安全性の確保が少なくとも行える。

### 10.2 システムの概要

電力を供給しなければならない主要な機器を Table 10.2-1 に示す。表中の①～③は非定常大容量負荷である。④～⑦は一定負荷で長時間にわたる停電時の補償をしなければならないものである。⑧は一定負荷であるが瞬時停電をも避けなければならないもので質の高いシステムを必要とする。⑨は一定負荷で非常時の電源が確保されていないなければならないものである。

### 10.3 具体的な手法

10.1 節の条件を満たす電気システムを構成していく上での具体的な手法を以下に挙げる。

- a) システム構成を単純化する。
- b) 各機器の所要電力を低減する。
- c) 各機器の必要とする電源の質によりレベル分けを行い、非常用および無停電電源や無効電力補償装置を共通化する。(構成のブロック化)
- d) 変動の激しい負荷についてフライホイール付電動発電機(MGF)等で変動を平均化する。構成を単純にすることは安全性を確保するのに有効であり、MGFの採用は非定常負荷が平均化されて受電容量が小さくなるなど受電条件の緩和といった効果がある。また非常用および無停電電源を集約することは規模の縮小になる。

### 10.4 基本設計

#### (1) 外的設計条件

受電に関する条件を列挙する。これらは電力需要計画に基づくものである。

- 受電電圧 : 275 kV
- 受電容量 : 360 MW (瞬時最大値)  
300 MW (平均値)
- 力 率 : 0.9 以上 (受電点にて)
- 瞬断幅 : 60 MW

瞬断について JT-60 の設計時の条件を参考までに掲げる。

- 瞬断幅 : 40 MW
- シャ断間隔 : 7 sec

## (2) 消費電力

非定常大容量負荷について考える。まずトロイダル磁場コイルは超電導コイルであり一定の磁場を発生させればよいので、励磁時間を長くにとって所要電力を抑えることができる。しかし整流器やケーブル等に電力損失があるため、励磁時間をいくら長くしても所要電力はある一定値より小さくならないことに注意する。この電力は系統から直接受電できる。次にポロイダル磁場コイルと加熱システムを考えるとプラズマ電流立上げ、立下げ時に変動の大きな電力が必要になる。これらには系統との間に MGF を入れて必要な電力を平均化する。ポロイダル磁場コイルについて考えると、本事例ではプラズマ電流の立上げを RF で行っているため電源系からプラズマへのエネルギーの流入が小さい。従って、系統から取る電力は MGF や整流器などの損失分にはほぼ等しい。加熱システムでは LHRF システムの消費電力が他に比べて大きいのが特徴である。

以上の考察より得られた各機器の消費電力の時間変化チャートを Fig. 10.4-1 に示す。そして受電点における消費有効電力チャートを Fig. 10.4-2 に示す。実験の繰り返し燃焼の 1 サイクルをとって、消費電力を次の式で時間平均する。

$$P_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i \tau_i}{\sum_{i=1}^4 \tau_i}$$

$\tau_1, P_1$  : プラズマ電流立上げ時の時間, 消費電力

$\tau_2, P_2$  : プラズマ加熱時の時間, 消費電力

$\tau_3, P_3$  : プラズマ燃焼時の時間, 消費電力

$\tau_4, P_4$  : プラズマ電流立下げ時の時間, 消費電力

この式に Fig. 10.4-2 のグラフより読みとった値を入れる。

$$\tau_1 = 100 \text{ (s)}, \quad P_1 = 274.35 \text{ (MW)}$$

$$\tau_2 = 20 \text{ (s)}, \quad P_2 = 181.0 \text{ (MW)}$$

$$\tau_3 = 800 \text{ s}, \quad P_3 = 178.95 \text{ (MW)}$$

$$\tau_4 = 80 \text{ s}, \quad P_4 = 187.2 \text{ (MW)}$$

とすると

$$P_{ave} = 189.2 \text{ (MW)}$$

となり、燃焼時の電力にほぼ等しい。これは燃焼時間が他に比べて十分長いことが効いている。変動率を求めると

増加側 45.0 %

減少側 5.4 %

で減少側はあまり大きくないが、増加側の変動幅が非常に大きい。これはLHRFシステムの電力変動が大きいためである。燃焼時間が極端に小さくならなければこの傾向は一般的である。

### (3) 単線結線図

電気システムの単線結線図をFig. 10.4-3に示す。これは各機器のレベル分けを意識して構成されている。定常負荷の内、数十秒程度停電してもよいもの(④, ⑤, ⑥, ⑨)については直接ディーゼル発電機から停電時の補償を受けられるようになっている。また、⑧制御・計測システムは計算機を用いているので瞬断についても補償する無停電電源(CVCF)より電力を供給される。⑥冷却システムでは停電が1秒程度までなら許され、電圧変動も厳格でないので⑧のものよりは少し質を落したCVCFを用いることとしコストを抑えた。

## 10.5 問題点と解決策

全消費電力においてピーク電力(277.3 MW)は受電条件内にあるが瞬断電力(90 MW)が10.4(1)項の外的設計条件を満たさない。この対策として次の二通りが考えられる。

### ① 現システムのままで

LHRFシステムをブロックに分けて逐次投入し断断することにより瞬断条件を満足させる。

### ② システムを変更して

MGF(～容量180 MVA, 吐出エネルギー15 GJ)を採用して消費電力の平均化を図る。

MGFを採用した場合の全消費電力チャート、単線結線図を各々Fig. 10.5-1, 10.5-2に示す。LHRFシステムのMGFは大容量になるのでICRFやECHシステムにもこれより電力を供給することにした。平均電力 $P_{ave}$ や変動は次のようになる。

$$P_{ave} = 195.4 \text{ (MW)}$$

変動 増加側 7.5 %

減少側 3.7 %

瞬断電力が1 MWと小さくなり設計条件の許容値以下である。しかし、上記の結果は同時に平均消費電力が6.2 MW増加することを示している。従ってMGFを採用すると製作コストはMGFの分だけ増え、平均消費電力も増えるので電気使用料も3.3 %程度増加するという結果になる。

以上の検討をまとめて評価を試みるとTable 10.5-1のようになる。①案はコストの面から考えれば利点があり、②案は断断電力の問題や増幅管等の機器の保護を考えれば有利になってくる。各方式とも長所、短所があるので、今後総合的観点より詳細な検討を進めていく必要がある。

Table 10.2-1 Each loads

<p>(I) Heavy duty loads</p>	<p>(1) T. F. C.                  (2) P. F. C.                  (3) Heating system                      LHRF                      ICRF                      ECRF</p>
<p>(II) Light duty loads</p>	<p>(4) Tritium system                  (5) Vacuum pumping sytem                  (6) Cooling system                  (7) Refreigerator                  (8) Control system                  (9) Common Load                      Building                      Maintenance utility</p>



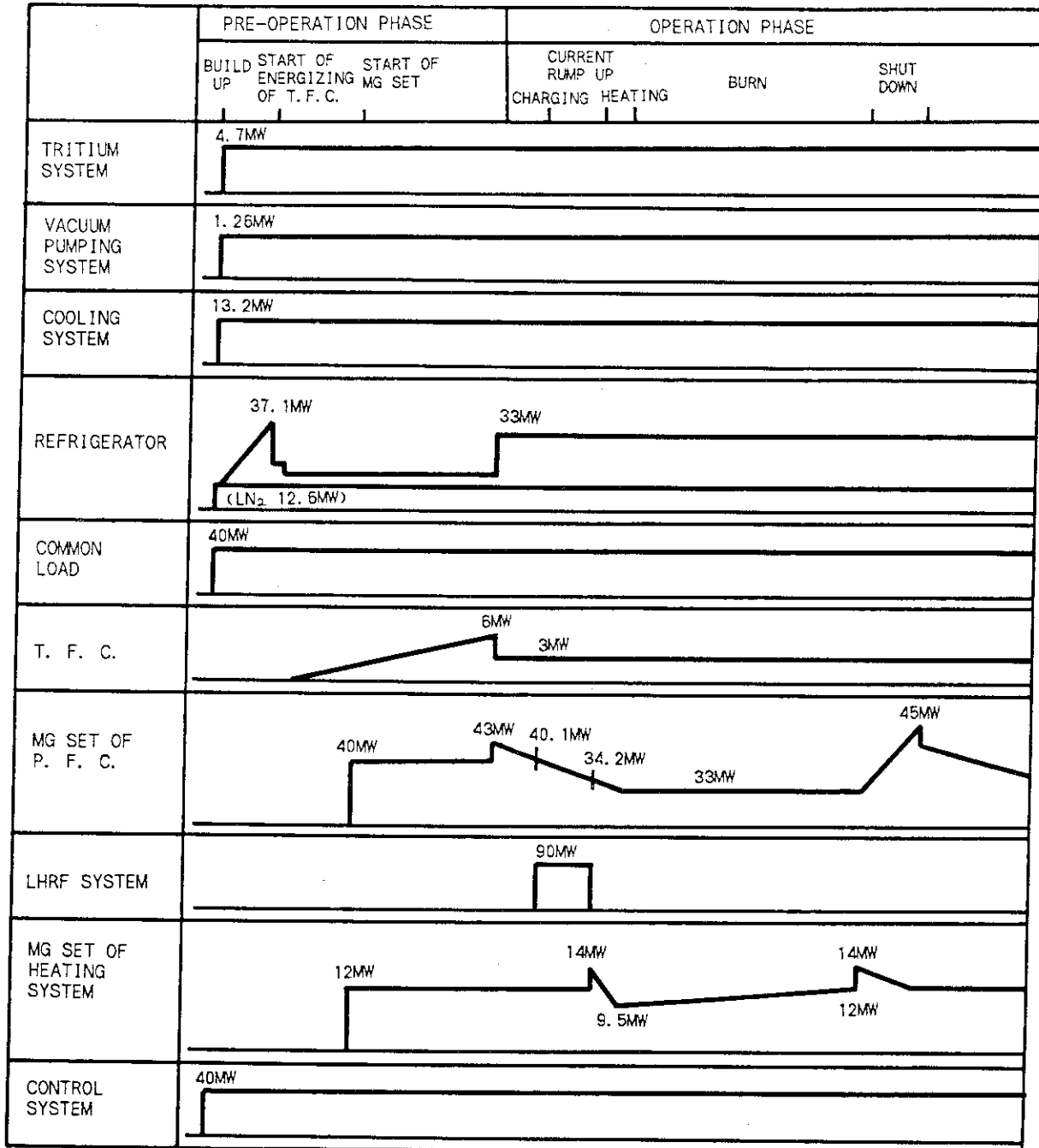


Fig. 10.4-1 Required power chart

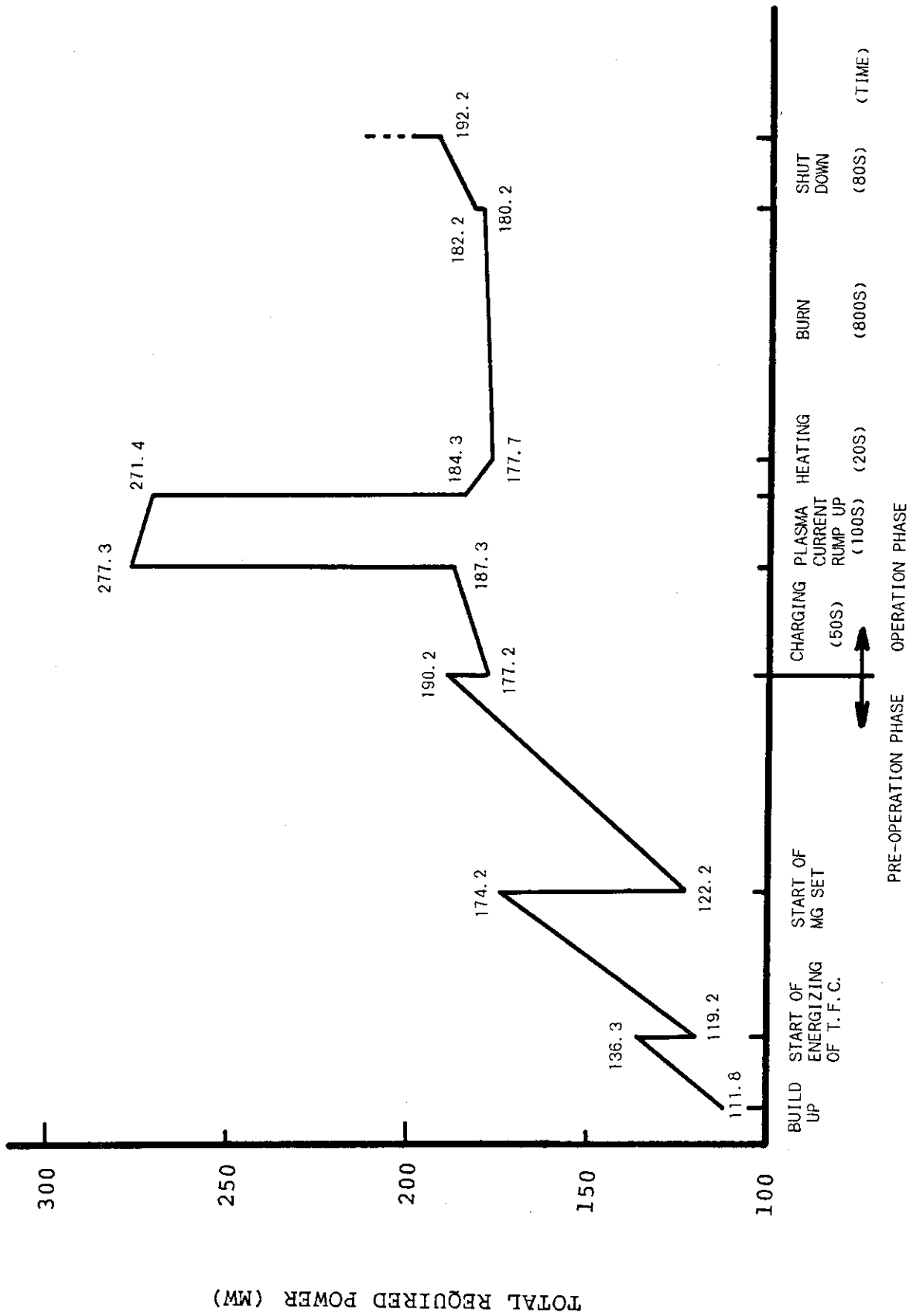


Fig. 10.4-2 Total required power

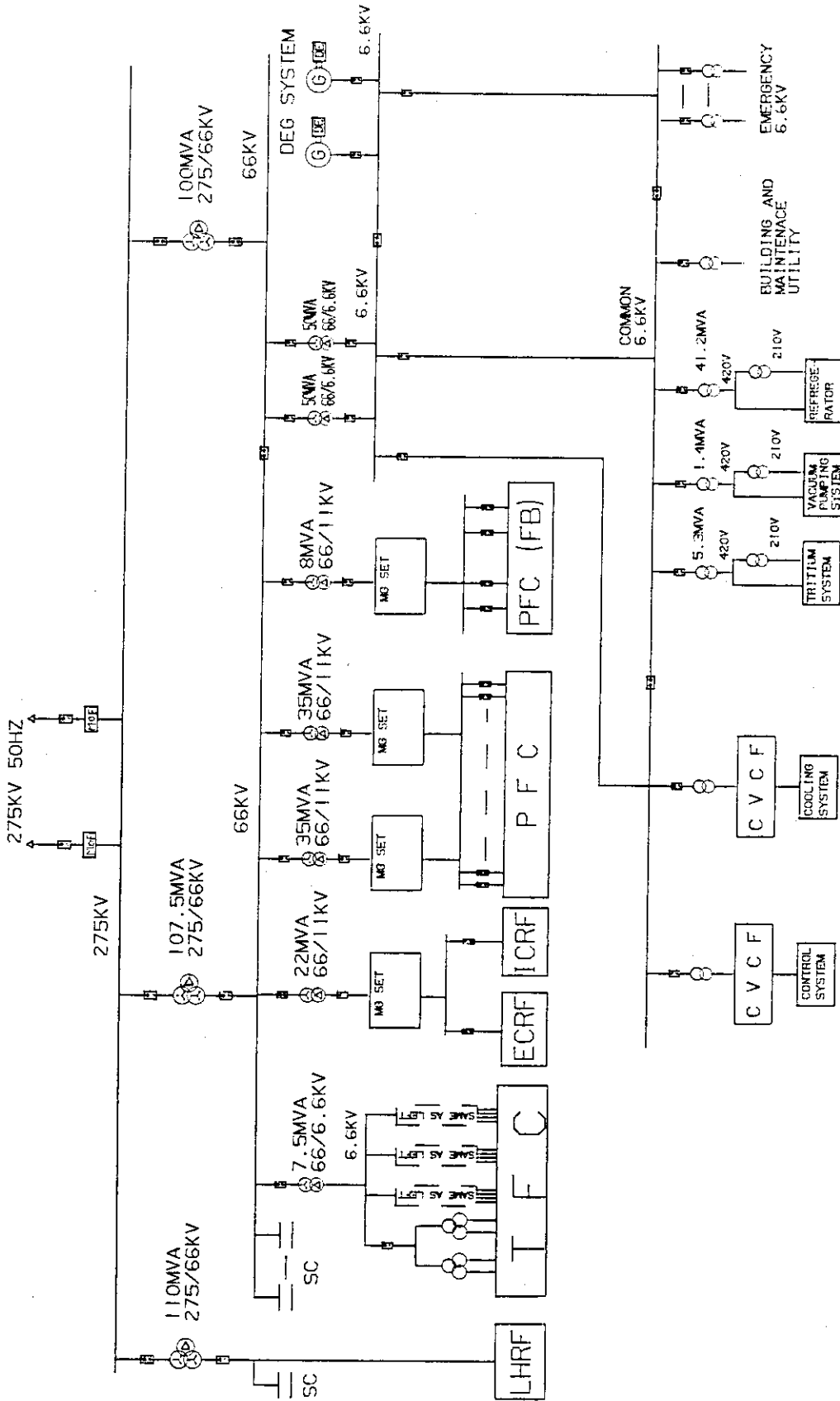


Fig. 10.4-3 One line diagram of FER

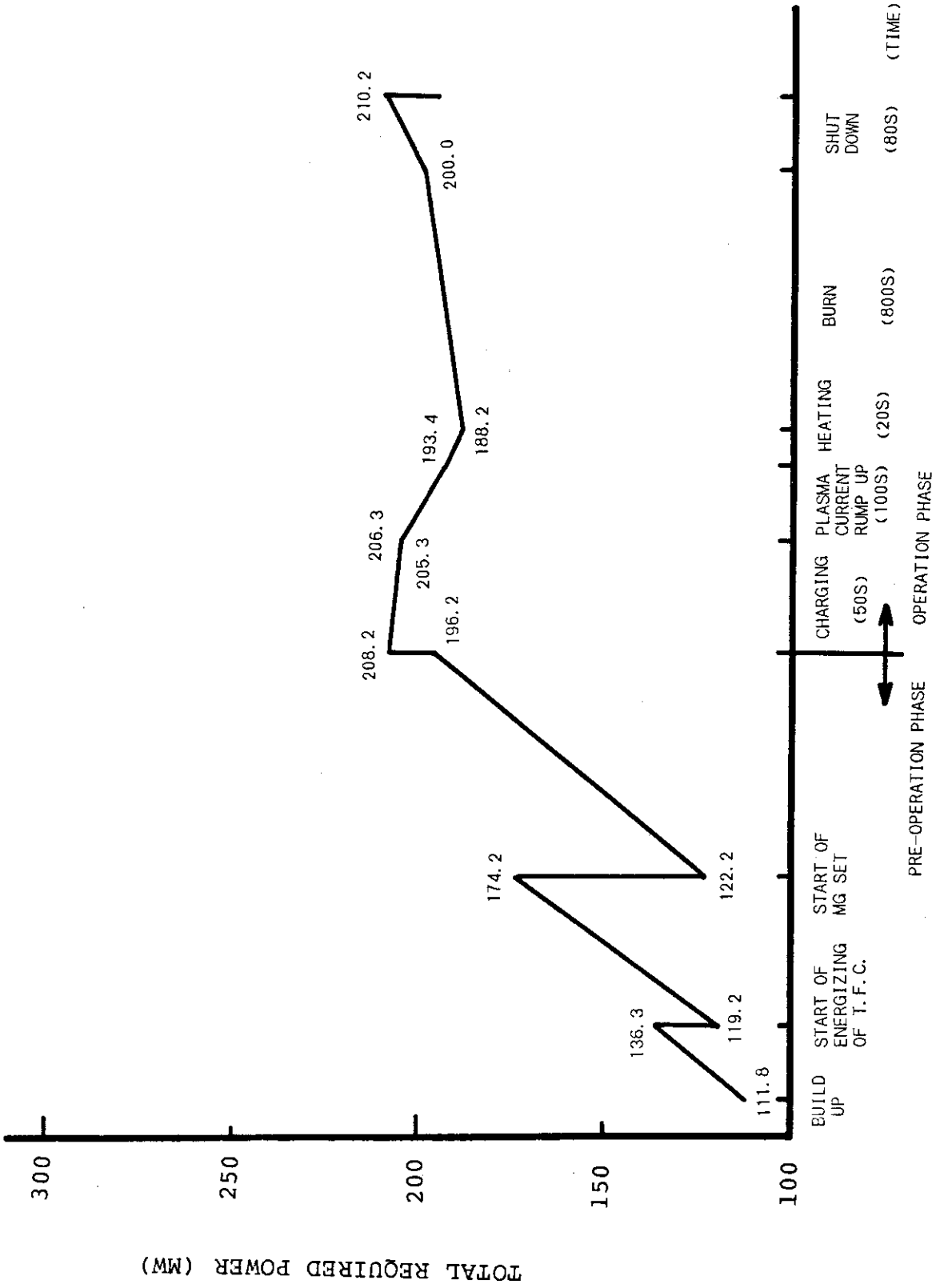


Fig. 10.5-1 Total required power

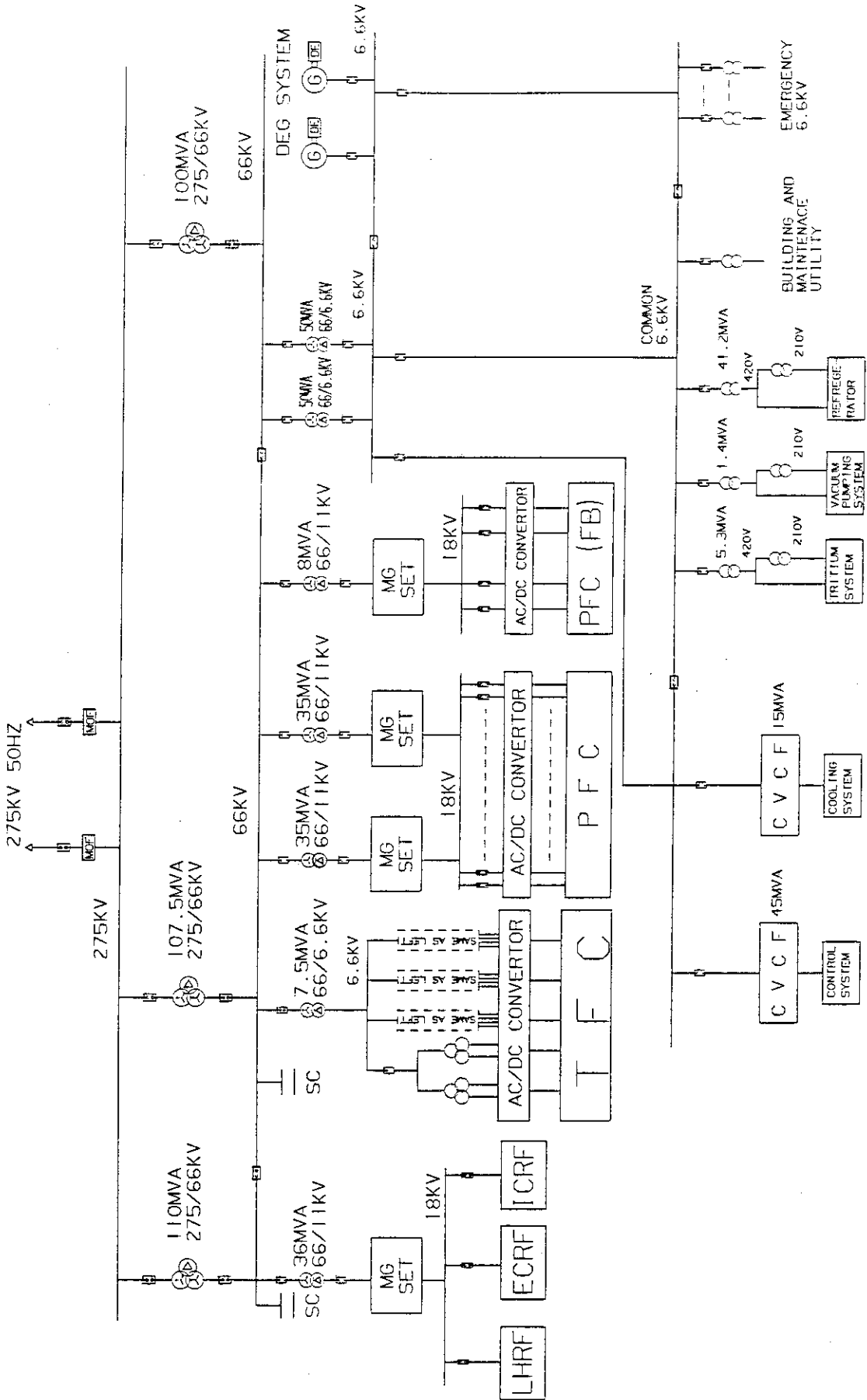


Fig. 10.5-2 One line diagram of FER

Table 10.5-1 Comparison between proposals

	proposal ①	proposal ②
Cost	○	△
Fluctuation of the total power	× *	○
Safety of components	△	○

\*: under the design condition

(fluctuation of total power)  $\leq$  60MW

## 11. サイト工場計画

FER を構成する各種の大型コンポーネントの製作は、建設期間の短縮と建設コストの低減のために可能な限り完成度の高い状態で現地に搬入し、組立てることにより現地作業を少なくすることが効率的であると考えられる。

そして、これらのコンポーネントを製造者工場（メーカ）から FER 建設サイトまで輸送する場合に想定される条件を踏えて、その実現性について検討した結果、大型コンポーネントの幾つかについては、サイト工場の設置が不可欠になると考えられる。ただし、製造者工場とサイト工場の両者間の適切な作業分担を考慮して、サイト工場の規模を最小限にすることは可能である。

以下において、対象となる大型コンポーネントの種類、仕様及び条件について検討し、それに対応するサイト工場の形態について纏める。

### 11.1 対象となる大型コンポーネントの仕様

対象とする大型コンポーネントとして、超電導マグネット関係は、ポロイダル磁場コイル (PFC) とトロイダル磁場コイル (TFC)、炉心コンポーネント関係では、真空容器、可動遮蔽体及びベルジャ型クライオスタットがある。Table 11.1-1 には、これら大型コンポーネントに対する「サイト工場」と「製造者工場」の担当分類と仕様を纏めて示したものである。PFC の  $P_1 \sim P_3$  及び  $P_{18} \sim P_{20}$  のコイルの場合、全製造工程を全部サイト工場である場合とメーカ工場でパンケーキコイルを製作し、サイト工場では、その組立加工をする場合の 2 つの考え方がある。また、TFC の場合、メーカ工場で全部製造し、完成品として搬入する場合と、メーカ工場で分割部品（3 種類）を製作し、サイト工場で組立てる場合が考えられる。真空容器とベルジャ型クライオスタットの場合、セクター単位でメーカ工場で製造し、サイト工場では、2～3 セクターを一体化し、本体室に据付ける。

Table 11.1-1 Classifications of reactor component fabrications between industry factory and site factory, and reactor component specifications

大型炉心コンポーネント		製造場所		仕様	備考
		サイト工場	メーカー工場		
PFC	P <sub>4</sub> ~P <sub>17</sub>	—	○	Table 11.1-2	
	P <sub>1</sub> ~P <sub>3</sub>	○	—	Table 11.1-3,-4	全製造工程を実施する。
	P <sub>18</sub> ~P <sub>20</sub>	○	○	Table 11.1-3,-4	メーカー工場でパンケーキコイルを作り、サイト工場でコイルに仕上げる。
TFC		—	○	Table 11.1-5 Fig. 11.1-1	完成品
真空容器	プラズマ真空容器	○	○	Table 11.1-6	セクターごとの分割部品とする。
	ポート部	(組立)	(製造)	Fig. 11.1-2	
ベルジャ型 クライオスタット	上側部分	○	○	Table 11.1-6	セクターごとの分割部品とする。
	下側部分	(組立)	(製造)	Fig. 11.1-3	
可動遮蔽体		—	○	Table 11.1-6 Fig. 11.1-4	完成品

○：主案、 ○：副案

- 注) (1) PFCのP<sub>1</sub> ~P<sub>3</sub> 及びP<sub>18</sub> ~P<sub>20</sub> のコイルに対する副案の場合、メーカー工場で作成したパンケーキコイルは、道路輸送が不可能なため、FER 建設サイト近辺の港に揚陸後、大型ヘリコプターで空輸することを想定している。



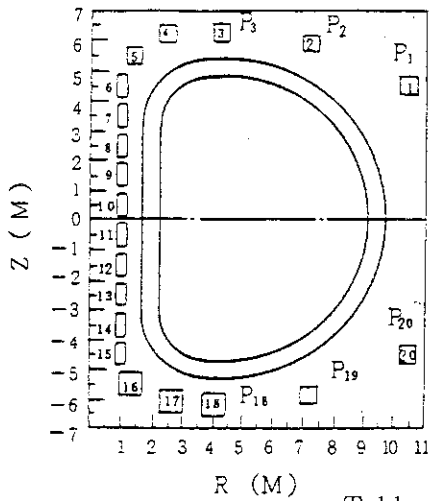
Table 11.1-2 PFC Parameters

Coil No.	コイル位置		断面寸法		Coil No.	コイル位置		断面寸法	
	R (m)	Z (m)	D <sub>R</sub> (mm)	D <sub>Z</sub> (mm)		R (m)	Z (m)	D <sub>R</sub> (mm)	D <sub>Z</sub> (mm)
P <sub>4</sub>	2.50	6.20	380	660	P <sub>11</sub>	1.025	-0.50	362	932
P <sub>5</sub>	1.40	5.50	362	628	P <sub>12</sub>	1.025	-1.50	362	932
P <sub>6</sub>	1.025	4.50	362	780	P <sub>13</sub>	1.025	-2.50	362	932
P <sub>7</sub>	1.025	3.50	362	856	P <sub>14</sub>	1.025	-3.50	362	704
P <sub>8</sub>	1.025	2.50	362	932	P <sub>15</sub>	1.025	-4.50	362	476
P <sub>9</sub>	1.025	1.50	362	932	P <sub>16</sub>	1.40	-5.50	400	552
P <sub>10</sub>	1.025	0.50	362	932	P <sub>17</sub>	2.65	-6.10	776	944

Table 11.1-3 Configuration and Parameters of PFC

PFC 配置

PFC パラメータ



Coil No.	コイル位置		ターン数			断面寸法	
	R (m)	Z (m)	ターン数 Pie	Pie 数	合計	D <sub>R</sub> (mm)	D <sub>Z</sub> (mm)
P <sub>3</sub>	4.25	6.25	13	14	182	614	652
P <sub>2</sub>	7.25	5.90	13	14	182	614	652
P <sub>1</sub>	10.50	4.50	9	8	72	462	424
P <sub>18</sub>	4.10	-6.25	23	27	552	994	1032
P <sub>19</sub>	7.25	-5.90	12	16	192	654	728
P <sub>20</sub>	10.50	-4.50	22	24	528	1209	1032

Table 11.1-4 Transportation conditions of PFC

部品名		パンケーキ数	寸法 (m)	重量 (ton)	備考
PFC パンケーキコイル	P <sub>1</sub>	8	φ 22	6.5	
	P <sub>2</sub>	14	φ 15	6.5	
	P <sub>3</sub>	14	φ 9	3.8	
	P <sub>18</sub>	24	φ 9.2	6.5	
	P <sub>19</sub>	16	φ 15	6.0	
	P <sub>20</sub>	24	φ 22	16 (5.3×3個)*	3分割する。

Table 11.1-5 Transportation conditions of TFC

方式		寸法 (m)	重量 (トン)	備考
完成品方式		13 × 9.5 × 1.5	330*	12個
分割部品方式	導体巻線	0.54 × 7.5 × 10.5	65	12個
	ケーシング	13 × 9.5 × 1.5	265	12個 (但し、必要により分割可)
	シェアパネル	1.5 × 3.0 × 1.8	110	。コイル当り 4個で構成 。12式

\* シェアパネルを含まず

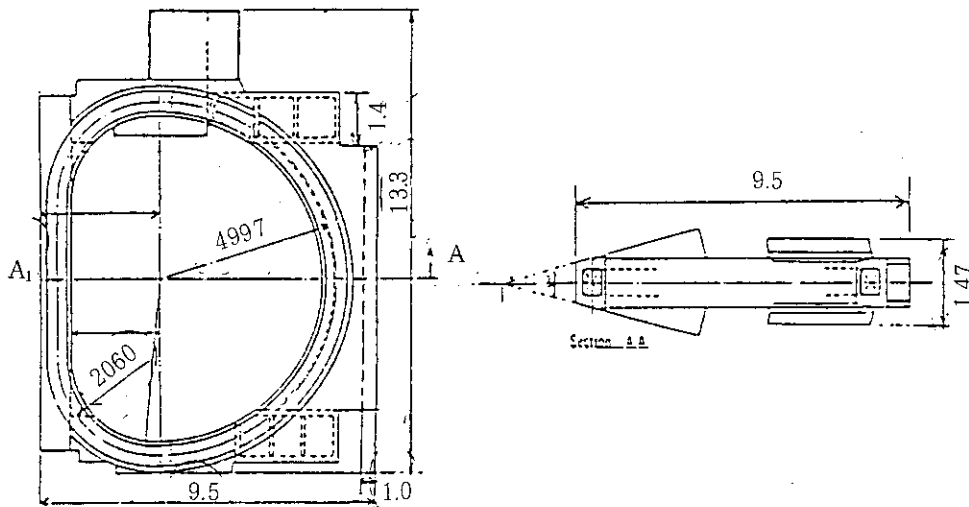


Fig. 11.1-1 Configuration of TFC

Table 11.1-6 Transportation conditions of reactor components

コンポーネント		寸法 (m)	重量 (トン)	備考
真空容器	プラズマ真空容器部	6.5 × 8.5 × 4.7	150	
	ポート部ベルジャ側壁	4 × 8.5 × 6.2	120	
可動遮蔽体*	マグネット遮蔽体	2.5 × 4.1 × 5.0	90	12個
	生体遮蔽体	4.1 × 4.9 × 6.8	175	12個
ベルジャ	上側鏡板	11.8 × 6.15 × 57	45	12個
	底板	11.8 × 6.2 × 0.8	81	12個

\* 可動遮蔽体を完成品とする場合は 265 トン/個となる。

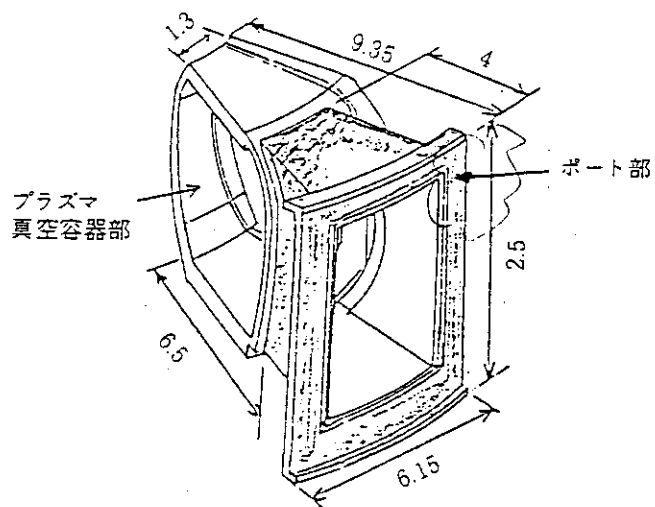


Fig. 11.1-2 Vacuum vessel and port

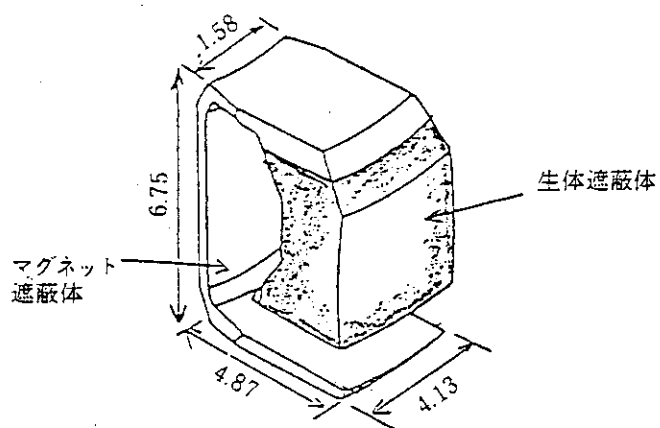


Fig. 11.1-3 Movable shield

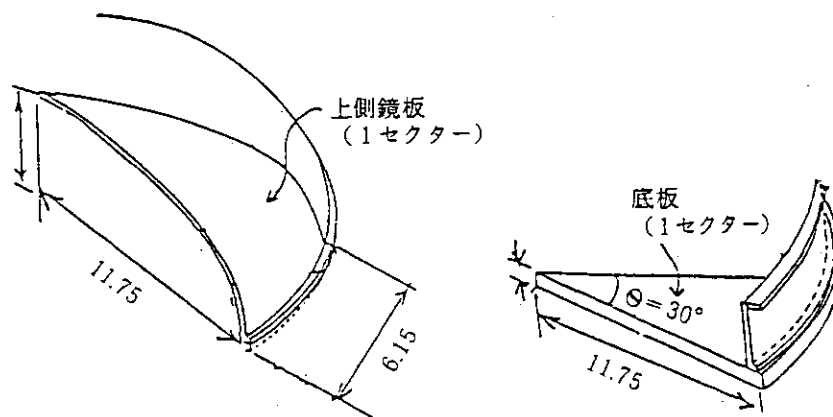


Fig. 11.1-4 Veljar type cryostat

11.2 サイト工場の形態

サイト工場は、PFC 製造建家、組立加工建家及び超電導マグネット試験建家から構成される。そして、これらの建家は、特に、PFC の場合、製造から試験までの作業工程の流れから、相互に連結して構成することが、効率上適切である。

Table 11.2-1 は、各コンポーネントに対するサイト工場の機能を示す。ここでは、PFC は、巻線からの一貫生産ライン、TFC は完成品の搬入を前提とした場合を検討する。(PFC パンケーキコイルを搬入する場合は、PFC 製造建家は、当然縮小される。) 炉心コンポーネントは、設計の段階からサイト工場での作業の簡素化、すなわち、組立と溶接のみで機械加工を必要としないように十分な配慮をするものとする。

超電導マグネットの試験は、その冷却から通電試験までに長期間を要するため、一度に可能な限り数多くのコイルを処理できるようにする必要がある。

Fig. 11.2-1 は、Table 11.2-1 を前提とした場合のサイト工場の構成概念の一例を示す。

Table 11.2-1 Functions of site factory buildings

建 家 名	対象コンポーネント	サイト工場の機能	
PFC 製造建家 (PFC Fabrication Building)	PFC ○一貫生産ライン	作業	導体巻線製造 パンケーキコイルの製作 → コイル導体の組立
		設備	Fig. 2.5.7-1 [B] の設備
組立加工建家 (Assembling Building)	PFC 炉心コンポーネント (分割部品)	作業	分割部品の組立溶接 組立 → 溶接 → 検査
		設備	主要装置 ○溶接装置, ○クレーン (原則として機械加工は実施しない方針で検討)
超電導マグネット 試験建家 (Coil Testing Building)	PFC	作業	コイルの冷却 通電試験
	TFC	設備	真空容器 (真空ポンプ含む), 電源, 計測設備(L. N <sub>2</sub> , L. He は液化冷凍建家から供給を受ける。)

## 1) PFC 製造建家 (PFC Fabrication Building)

本建家は、巻線作業からの一貫生産ラインの場合を前提とする。巻線作業は、3本の超電導線をバラに巻いてパンケーキコイルを製作する例を示す。巻枠は、スペースを節約するため、立てて使用する。生産ラインの流れは、図面上において、左から右へ進行する。但し、生産設備の共用を図るため、右から左に移行する場合もあり、また、組立加工建家のスペースも一時的に使用する。クレーン設備は、10 Tonと150 Tonの2種類とし、P<sub>20</sub>コイルの様に150 Tonを超える場合は、その組立は400 Tonクレーンを使用する。

## 2) 組立加工建家 (Assembling Building)

本建家は、PFCへの支持構造体の取付及びセクター形状に分割されて搬入された炉心コンポーネントの一体化の作業が主になる。設計の段階で十分に構造検討することにより、最小限の溶接作業に止めることを前提とし、TIG溶接又はボルト締結で全て対応する方針としたい。ここでの作業はPFCと炉心コンポーネントの組立がオーバーラップする期間を最小限にするように全体工程の調整が不可欠となるだろう。

## 3) 超電導マグネット試験建家 (Coil Testing Building)

本建家は、PFC及びTFCの全数の冷却・通電試験を実施する。サイト工場で製造されたPFCは、組立加工建家から、他の小型PFC及びTFCは完成品として製造者工場から直接搬入される。

試験設備として、PFC用及びTFC用の個別の真空容器を設ける方式も考えられるが、今回は、大型PFC 1個とTFC 2個そして、さらに収納個数を増やすために内部に架台を設置し、小型PFCを同時に収納する大型の真空容器を設けるものとした。Fig. 11.2-2は、その概念構成を示すものである。TFCは、横に寝せて設置し(強制冷却方式である故、問題ない。)通電時の電磁力に対しては、その支持構造を考慮するPFCの場合も同様の考えに基づく。小型PFCの場合は、架台上に数個ずつ搭載して試験する。そして、これらのマグネットは全て断熱支持構造を有する据付台と輻射シールドで熱絶縁される。通電試験は、コイル相互の干渉を避けるため、原則として1個ずつ励磁する。

一回の冷却・通電試験は、冷却に長期間要することから6ヶ月程度を見込むものとする。PFCとTFCの全数が順調に試験完了するのに約3年が必要と考えられる。従って、PFCとTFCの製作及び据付の工程を検討する場合には、上記の試験工程を十分に考慮することが必要である。

上記の冷却・通電試験に使用する液体He、N<sub>2</sub>は、多量になる故、試験専用の液化冷凍設備を設けるよりも、試験開始時までにFER全体で利用することになっている液化冷凍建家の設備の一部又は、全部を先行製作(R & D計画がある場合はこれを充当)し、そこから供給を受けることがコスト低減上から望ましいと考える。

真空容器は、試験建家のほぼ中央に配置し、また制御室も設ける。クレーンは、400 Tonのものを組立加工建家と共通に使用する。但し、小型PFCの取扱いを考慮して、30 程度のクレーンを併設することが必要である。

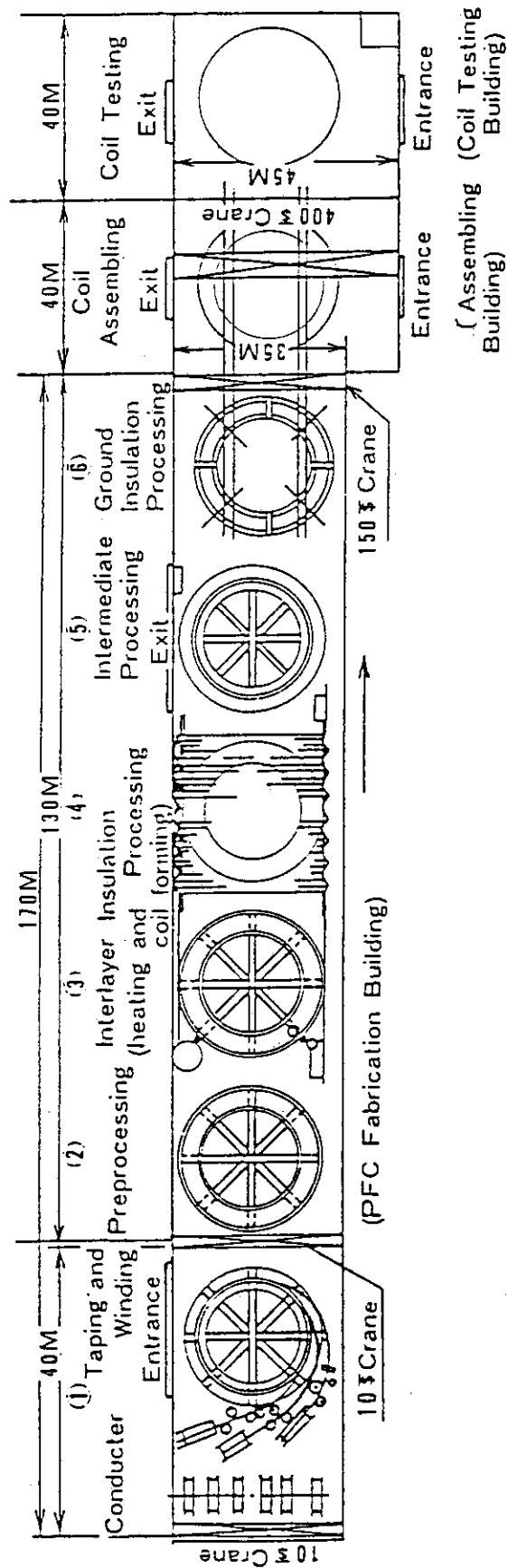


Fig. 11.2-1 Concept of site factory building arrangement

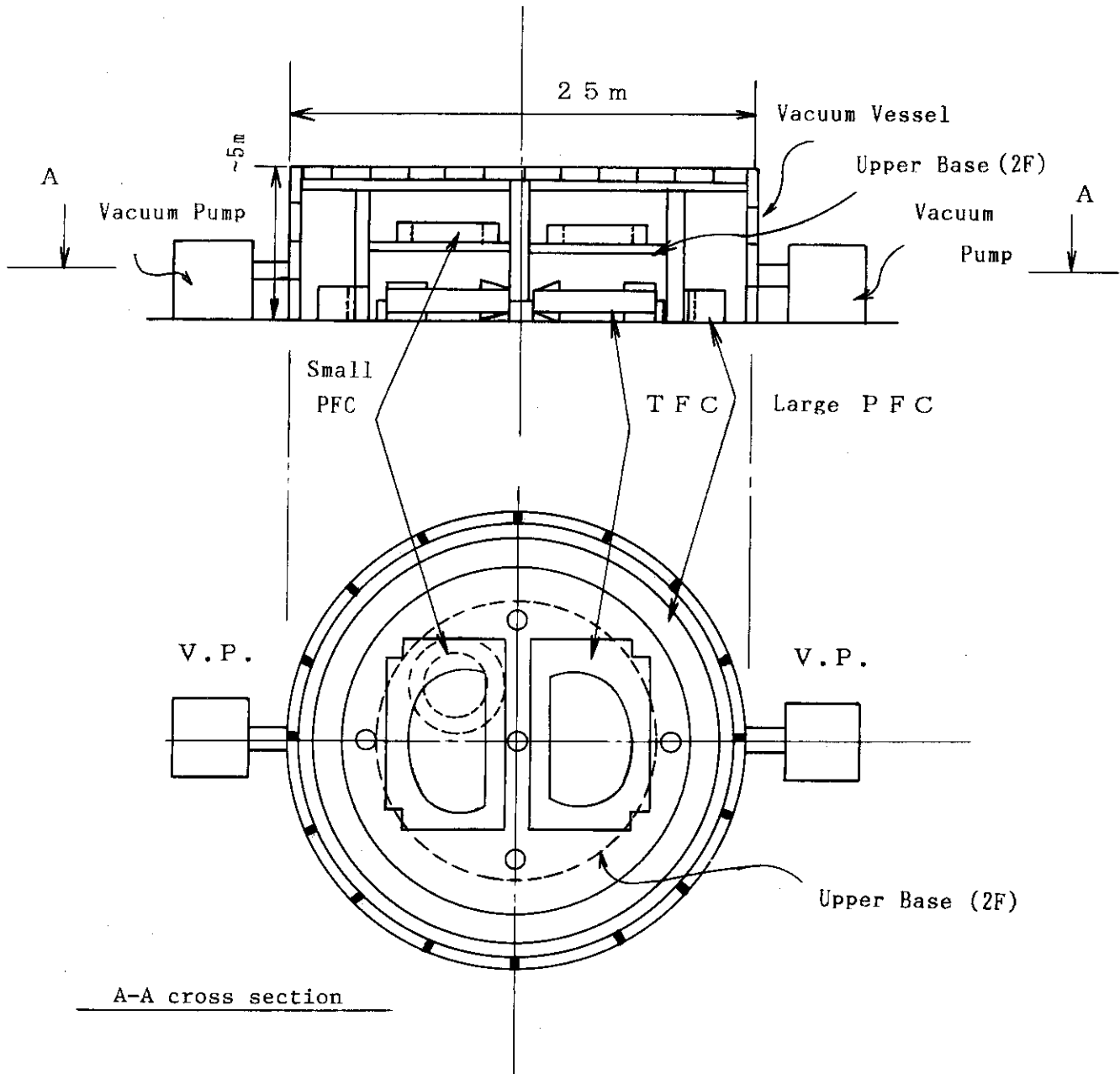


Fig. 11.2-2 Concept of multi purpose vacuum vessel for various superconducting magnet testing

## 12. 結 言

FER プラントシステムの設計は昭和 61 年度は '86 FER の設計の一環として実施された。主な成果としては、

- ① 統括、調整業務として、システムブロックダイヤグラム、FER 構成レベル表の更新、および制定を行い、今後の業務の系統的処理の為の基礎を築いた。
- ② サイトに関する各種計画の具体化をより進めた形で実施し、当面の設計と今後の課題を明かにした。
- ③ 分解修理に関しては従来に比し、大巾な合理化思想を取り入れた計画を試みた。
- ④ トリチウム取扱設備のうち、燃料トリチウム循環系については、RF 加熱方式の場合と、NBI 加熱方式の二方式を並記した。HVAC/TCS については新しい概念に基づく合理化を提案している。
- ⑤ 冷却水設備については系統の機械装置との整合性をより詳細に検討すると共に、圧力レベルの低減を行った場合の試行を提示した。  
又、ベイキングについての検討も行った。
- ⑥ 廃棄物処理については全システムの視野での考察を進めると共に、コンポーネントのあらましについても検討した。
- ⑦ 制御に関しては 61 年度より取り上げ、システム構成、階層別機能、およびプラズマ制御の基本的な手法について提案した。
- ⑧ 電気システム関係では系統に対する変動の積上げを行った。今回 LHRF を系統から直接電力供給した場合の変動が大ききことに鑑み、MFG の採用時についても考察を試みている。今後の課題としては以下の観点からの検討を主として各プラントシステム設計に関し実施すべきと考える。

- ① 全体システムの立場でのシステム補間の見直し。
- ② 各システムの構成、設計において、新しい情報アイディア、手法の取り込みと合理化。
- ③ 各システムと炉本体他の機器設備とのより高度な整合。
- ④ 各システムの構成コンポーネントの仕様の明確化。

なお建設工程、コスト評価などに関しては機会をみて報告することになる。

### 謝 辞

終りに臨み、本報告書関連の業務および報告書の作成に当り、御指導および御協力を頂いた関係課室および各位、ならびに協力企業の各位に対し、厚く御礼申し上げる次第である。



## 12. 結 言

FER プラントシステムの設計は昭和 61 年度は '86 FER の設計の一環として実施された。主な成果としては、

- ① 統括、調整業務として、システムブロックダイヤグラム、FER 構成レベル表の更新、および制定を行い、今後の業務の系統的処理の為の基礎を築いた。
- ② サイトに関する各種計画の具体化をより進めた形で実施し、当面の設計と今後の課題を明かにした。
- ③ 分解修理に関しては従来に比し、大巾な合理化思想を取り入れた計画を試みた。
- ④ トリチウム取扱設備のうち、燃料トリチウム循環系については、RF 加熱方式の場合と、NBI 加熱方式の二方式を並記した。HVAC/TCS については新しい概念に基づく合理化を提案している。
- ⑤ 冷却水設備については系統の機械装置との整合性をより詳細に検討すると共に、圧力レベルの低減を行った場合の試行を提示した。  
又、ベイキングについての検討も行った。
- ⑥ 廃棄物処理については全システムの視野での考察を進めると共に、コンポーネントのあらましについても検討した。
- ⑦ 制御に関しては 61 年度より取り上げ、システム構成、階層別機能、およびプラズマ制御の基本的な手法について提案した。
- ⑧ 電気システム関係では系統に対する変動の積上げを行った。今回 LHRF を系統から直接電力供給した場合の変動が大ききことに鑑み、MFG の採用時についても考察を試みている。今後の課題としては以下の観点からの検討を主として各プラントシステム設計に関し実施すべきと考える。

- ① 全体システムの立場でのシステム補間の見直し。
- ② 各システムの構成、設計において、新しい情報アイディア、手法の取り込みと合理化。
- ③ 各システムと炉本体他の機器設備とのより高度な整合。
- ④ 各システムの構成コンポーネントの仕様の明確化。

なお建設工程、コスト評価などに関しては機会をみて報告することになる。

### 謝 辞

終りに臨み、本報告書関連の業務および報告書の作成に当り、御指導および御協力を頂いた関係課室および各位、ならびに協力企業の各位に対し、厚く御礼申し上げる次第である。

## 参 考 文 献

- [1] Atomic Energy Commission of Japan, Nuclear Fusion Council, Subcommittee on the Basic Issues of Fusion Development, Report of the Subcommittee on Basic Issues of Fusion Development. (1986)
- [2] Atomic Energy Commission of Japan, Nuclear Fusion Council, Subcommittee on the Next Step Device, Report of the Subcommittee on the Next Step Device. (1986)
- [3] Atomic Energy Commission of Japan, Nuclear Fusion Council, Subcommittee on Fusion Reactor Technologies, Report of the Subcommittee on Fusion Reactor Technologies. (1986)
- [4] H. Iida, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Summary-" (in Japanese)
- [5] R. Saito, et al., "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Plant System Design-", JAERI-M 87-091 (June 1987) (in Japanese).
- [6] Y. Seki, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Safety-" (in Japanese).
- [7] T. Kobayashi, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Reactor Configuration/Structure Design-" (in Japanese).
- [8] N. Miki, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Magnet Design-" (in Japanese).
- [9] K. Nakashima, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -Power Supply Design-" (in Japanese).
- [10] K. Nakashima, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -RF Heating and Current Drive System Design-" (in Japanese).
- [11] K. Nakashima, et al., to be published in JAERI-M titled "Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FY86 FER) -NBI Heating and Current Drive System Design-" (in Japanese).
- [12] N. Fujisawa, et al., "Main Physics Features Driving Design Concept and Physics Design Constraints-Conceptual Design Study of FY86 FER-", JAERI-M 87-093 (June 1987).

- [13] M. Sugihara, et al., "Plasma Physics Design and Major Specifications of Candidate Reactors for Design Studies -Conceptual Design Study of FY86 FER", JAERI-M 87-108 (July 1987) (in Japanese)
- [14] T. Mizoguchi, et al., "Development of Tokamak Reactor Conceptual Design Code (TRESCODE) -Conceptual Design Study of FY86 FER-", JAERI-M 87-120 (July 1987).
- [15] M. Kasai, et al., "INTOR Scoping Study -Conceptual Design Study of FY86 FER-", JAERI-M 87-107 (July 1987).
- [16] S. Yamamoto, et al., to be published in JAERI-M titled "Physics Studies for Neutral Beam Heating and Current Drive -Conceptual Design Study of FY86 FER-".
- [17] K. Okano, et al., " Comparison of NBI Current Drive Theory with Experiment and Requirements for Extrapolation to NEXT Step Devices" JAERI-M 87-106 (June 1987) (in Japanese).
- [18] A. Hatayama, et al., to be published in JAERI-M titled "Lower Hybrid Heating and Current Drive -Conceptual Design Study of FY86 FER-".
- [19] T. Okazaki, et al., "Effect of RF Specttrum on Fast Wave Current Drive -Conceptual Design Study of FY86 FER-", JAERI-M 87-110 (July 1987) (in Japanese).
- [20] K. Yoshioka, et al., to be published in JAERI-M titled "Lower Hybrid Current Drive Models and Their Verification with ASDEX Data -Conceptual Design Study of FY86 FER-".
- [21] S. Hitoki, et al., "Consistency between Current Ramp-up/Recharging Scenario by Non-Inductive Current Drive and Dense and Cold Divertor Plasma", JAERI-M 87-109 (July 1987) (in Japanese).
- [22] N. Ueda, et al., to be published in JAERI-M titled "Two-dimensional Analysis for a Scrape-off and Divertor Regions with on MHD Model - Conceptual Design Study of FY86 FER", (July 1987).
- [23] T. Mizoguchi, et al., to be published in JAERI-M titled "Characteristics of Radiatively Cooled Edge Plasma for Fusion Experimental Reactor -Conceptual Design Study of FY86 FER-".
- [24] K. Shinya, et al., to be published in JAERI-M titled "Optimization Study of Poloidal Field Coil Configuration -Conceptual Design Study of FY86 FER-".
- [25] K. Shinya, et al., to be published in JAERI-M titled "Equilibrium Analysis and Conceptual Design of Poloidal Field Coil System -Conceptual Design Study of FY86 FER-".

- [26] A Kameari, et al., to be published in JAERI-M titled "Control of Plasma Current, Position, and Shape -Conceptual Design Study of FY86 FER-" (in Japanese).
- [27] M. Abe, et al., to be published in JAERI-M titled "Preliminary Analysis on Plasma Equilibrium Control -Conceptual Design Study of FY86 FER-" (in Japanese).
- [28] S. Yamamoto, et al., to be published in JAERI-M titled "(NBI Report)".
- [29] Department of Large Tokamak Research, Conceptual Design Study of Fusion Experimental Reactor (FER), JAERI-M 86-134 (1986)
- [30] H. Iida, et al., Design Study of Plant System for the Fusion Experimental Reactor (FER), JAERI-M 86-149. (1986)
- [31] T.H. Batzer, R.E. Patrick and W.R. Call, J. Vac. Sci. Technol. 18, P1125 (1981).
- [32] S. Kuribayashi, H. Ota and H. Sato, Proc. 11th Symp. on Fusion Engineering, P856 (1985).
- [33] Tritium no kagaku, Atomic energy society of Japan, (1982) (in Japanese).
- [34] M.F. Singleton, R.M. Alire, UCRL-80443 (1978).
- [35] G. Luthardt, H. Ebinger, Fusion Technology 8.2395 (1985).
- [36] H.P. Kherani, W.T. Shimayda, Fusion Technology 8.2394 (1985).
- [37] S. Suda, Suiso Chozou Goukin, Ouyou gijyutsu shuppan (1984) (in Japanese).
- [38] K. Nakamura, T. Hoshi, J. Vac. Sci. Technol. 3, 34 (1985).
- [39] T. Tanabe, T. Yamamoto, S. Imoto, J. Less. Comm. Metals 87, 393 (1983).
- [40] G.G. Libowitz, H.F. Hayes, T.R.P. Gibb Jr., J. Phys. Chem., 62, 76 (1958).
- [41] Department of Large Tokamak Research, Conceptual Design Study of Quasi-Steady State Fusion Experimental Reactor (FEQ-Q) Part 1 (FY 1984), JAERI-M 85-177. (1985)
- [42] Department of Large Tokamak Research, Conceptual Design Study of Quasi-Steady State Fusion Experimental Reactor (FER-Q) Part 2 (RY 1984), JAERI-M 85-178. (1985)

**付録1 '86FERプラント新設計／付加設計項目**

'86FERのプラント設計は'85FERの当該設計に引き続き実施されている。'86FERの設計検討に際し、'85FER設計と異なる新しい概念、方式、あるいは付加した内容についてまとめたものをTableA1-1に示す。

尚表中(C/D)と記されているものはConstraints/Drivers Listの意味であり、その内容は付録2を参照されたい。

Table A 1 - 1 New/Additional Contribution for '86 FER Plant System Design Study

No.	設 備	'86 新 設 計 提 案				摘 要
		コ ン セ プ ト	方 式 / レ イ ア ウ ト / シ ス テ ム	コ ン ポ ー ネ ン ト	目 的	
1	サ イ ト / 建 家	サ イ ト 工 場 ア セ ン ブ リ ー ホ ー ル 搬 送 ル ー ト 炉 本 体 建 家 軽 減 分 解 修 理 通 路 1 F フ ェ イ ズ ト コ ン ス ト ラ ク シ ョ ン N B I 炉	周 辺 装 置 の 別 建 家 移 転  炉 本 体 建 家 レ イ ア ウ ト レ イ ア ウ ト 改 良 数 量 整 合	未 収 納 品 摘 出 数 量 整 合 建 家 リ ス ト	大 物 現 地 製 作 大 物 現 地 組 立 見 直 し 合 理 化 簡 素 合 理 化 リ ス ク 回 避 代 替 方 式 合 理 化 シ ス テ ム 整 合 炉 型 評 価 機 能 整 合	適 用 範 囲 : 有 効 性  対 象 , 対 策 安 全 対 策 工 程 整 合 方 式 選 定 サ イ ト 適 合 建 家 膨 張 対 策
2	分 解 ・ 修 理	共 用 化 細 分 化 / 軽 量 化 既 設 備 利 用 ロ ー デ ィ ン グ セ ル 廃 止  ( C / D )	建 家 / 設 備 削 減 : : 数 量 整 合	設 備 小 型 軽 量 化  数 量 整 合 機 器 リ ス ト	合 理 化 : : : 炉 型 評 価 機 能 整 合	機 能 , 安 全 性 見 直 し : 実 現 性 機 能 , 安 全 性

No	設備	'86 新設計提案				摘要
		コンセプト	方式/レイアウト/システム	コンポーネント	目的	
3	燃料供給循環系 燃料注入系 真空排気系	A 吸着ポンプ	系統設定	機器リスト 数量整合 機器リスト	代替(清浄) : 安全性確保 機能整合	方式選定 付帯設備容量 運転性 信頼性, 寿命 数量確度
		T M ポンプ	系統設定			
		N B I 漏洩T 処理 (C/D)	システム付加 数量整合			
4	HVAC/TCS	ワンスルー方式 同位体交換 (C/D)	システム検討 システム検討 数量整合	数量整合 機器リスト	合理化 : 機能整合	法規適合性 数値評価
5	冷却設備	ベイキング機能 冷水供給機能 ベース圧力低減 パルス負荷解析 一次水温度高温化 (C/D)	システム付加 : 系統整合 数量整合	加圧削減  機器リスト	機能整合 : : : : 動的性能把握 合理化	数量精度 : : : 被冷却体許容 放射化汚染処理

No.	設 備	'86 新 設 計 提 案				摘 要
		コ ン セ プ ト	方 式 / レ イ ア ウ ト / シ ス テ ム	コ ン ポ ー ネ ン ト	目 的	
6	廃棄物処理	液状廃棄物評価 (C/D)	系統整合	容量/寸法評価 機器リスト	数量把握 具体化 :	数量精度 :
7	計測・制御	〔新規〕 階層システム 集中/分散制御 M/Mインターフェイス モード選択 自動化 (プラズマ制御)	システム機能 システム構成		システム積上	機能評価 合理化  プラズマ物理 EM解析
8	電気システム	系統電力平準化 (C/D)	LH電源MG化 系統整合 数量整合		合理化 機能整合 機器リスト	機能評価 コスト評価
9	運搬・サイト工場	〔新規〕 輸送限界 現地製作 (C/D)	輸送ルート調査 サイト工場配置	輸送品設定 サイト工場計画	サイト周辺計画	地域対策 対象範囲 作業内容/設備



## 付録2 Constraints/Drivers List

この時期 '86FER の作業と並行して、国際協力対応の作業も行われていた。その作業の一つとして設計を左右する Constraints と Drivers の抽出とその選択理由を明かにするものがあった。これらは主として炉本体について実施するものであったがプラントシステム設計においても同様な思考を取り入れ、各プラントがいかなる理由によって決められ、設計されているかを明らかにする試みを行った。

各プラントについて所定の様式に整理したものを Table A 2-1 から A 2-12 に示す。項目の定義を以下に略記する。

① Mission , Objectives , Design Philosophy

プロジェクト計画, 推進に関し, 上位の決定として与えられた内容, (炉の達成目標, 次期, 規模など)

② Constraints

設計を進めるに際しての拘束条件を意味する。

(Intrinsic) はその中でも設計者の意志では変更できない種類の条件を指す。(自然法則, 法規, 自然条件など)

(Given) は本来は Constraints ではないかも知れないが, 上位システムからの要求として課せられた種類の条件を指す。(冷却設備に対する炉出力など)

③ Drivers

設計者が設計の特徴としてその意志に基づき選択すべき内容。

④ Critical Issues

実現の為必ず解決を必要とする主要検討項目。

Table A2-1 Constraints/Drivers List  
(Site/Buildings)

Items	Mission	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Site</li> <li>• Location</li> <li>• Natural Phenomenon</li> <li>• Utilities</li> <li>• Layout</li> <li>■ Buildings</li> <li>• Housing &amp; Operation of Reactor &amp; Aux. Sys.</li> <li>• Radioactivity Cont., n &amp; r Shielding</li> <li>• Safety Guide</li> <li>• Machine &amp; Equipments Size</li> <li>• Construction &amp; Maintenance Method</li> <li>• Compo. Transfer Route &amp; Method</li> <li>• Rooms / Buildings Dimension</li> <li>• Layout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li></li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportation</li> <li>Evaluation of Ground Motion</li> <li>Secondary Water</li> <li>SC Test Facility Fabrication "</li> <li></li> <li>Containment Concept</li> <li>Seismic Category</li> <li>Assembly &amp; Mainte.</li> <li>Assembly &amp; Mainte. Facilities</li> <li>Relation to Site Layout</li> <li>Building Structure</li> <li>Relation to Site Layout</li> </ul>

Table A2-2 Constraints/Drivers List  
(Repair and Maintenance)

Items	Mission (Objectives, Design Phil)	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
Phased operation scenario	0				Neutron fluence
Objective components for maintenance			0		Reactor structures Maintenance scenario
Maintenance scenario			0		Reactor structures Operation scenario
Maintenance interval and numbers				0	Operation scenario Load conditions
Maintenance action				0	Remote systems technology
Maintenance systems				0	Reactor structures Radioactivities
Radwastes treatment methods				0	Maintenance scenario
Safety guide		0			Tritium released Radioactivities
Layout				0	Transfer method

Table A2-3 Constraints/Drivers List  
(Injection system)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
The room condition (temperature, humidity, permissible tritium concentration, space, etc.)			o		
System input condition (temperature, pressure, flow rate, composition, etc.)			o		Operation scenario
System output condition (pellet size, pellet speed, repetition rate, duration, composition, etc.)			o		Pellet speed Repetition rate
Injection system (Acceleration system, tritium inventory, etc.)				o	Tritium inventory System selection
Layout				o	Space for equipment
Utilities				o	

Table A2-4 Constraints/Drivers List  
(Vacuum pumping system)

Items	Mission Objec- tives Design Phil.	Const- raints (Int- insic)	Const- raints (Given)	Drivers	Critical Issues
Pre-shot base pressure $1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa} (10^{-5} \text{ Torr})$			o		
Ultimate pressure $1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa} (10^{-8} \text{ Torr})$		o			
Required pumping speed $10^2 \text{ m}^3/\text{s}$		o			
Nuclear heating of Cryopanel <5 kW		o			
Gas load from divertor $2.88 \times 10^{21} \text{ s}^{-1} (\text{DT})$ $1.34 \times 10^{20} \text{ s}^{-1} (\text{He})$		o			
Duct conductance				o	
Cryopump				o	Tritium inventory
Required area of cryopanel		o			
Regeneration time of cryopanel				o	Regeneration time
Explosion limit by $\text{H}_2$ (or its isotops) gas concentration		o			
Rough pumping system				o	
Layout				o	

Table A2-5 Constraints/Drivers List  
(Fuel processing system)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
Purification	o				
Isotope separation	o				
Storage	o				
The room condition (temperature, humidity, permissible tritium concentration, space, etc.)			o		
System input condition (temperature, pressure, flow rate, composition, etc.)			o		Operation scenario
System output condition (temperature, pressure, flow rate, composition, etc.)			o		
Processing system (processing system, tritium inventory, etc.)				o	Tritium inventory System selection
Layout				o	
Utilities				o	
Safety requirement			o		Hydrogen explosion

Table A2-6 Constraints/Drivers List  
(HVAC)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
The open air condition (temperature, humidity, etc.)		o			
The room condition (temperature, humidity, permissible tritium concentration, space, etc.)			o		
System Input condition (temperature, humidity, tritium concentration, etc.)			o		
System output condition (temperature, humidity, tritium concentration, etc.)			o		Environment safety Worker safety
Processing system (zoning, processing method, flow rate, etc.)				o	System selection
Layout				o	Space for duct and equipment
Utilities				o	

Table A2-7 Constraints/Drivers List  
(TCS)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
The room condition (temperature, humidity, permissible tritium concentration, space, etc.)			o		
System input condition (temperature, humidity, tritium concentration, etc.)			o		Detritiation time
System output condition (temperature, humidity, tritium concentration, etc.)			o		Environment safety Worker safety
Processing system (processing system, flow rate, etc.)				o	Liquid waste System selection
Layout				o	Space for equipment
Utilities				o	



Table A2-8 Constraints/Drivers List  
(Cooling system)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
Climate Conditions		o			
Layout				o	- Space for piping and Equipment
Cooling Duty			o		- Analysis of Heat Fluctuation
Safety System			o		
2nd. Cooling System				o	- System Selection
Tritium Inventory				o	- Inventory Figure
Corrosion Products				o	- Amount of Corrosion Products
Coolant			o		- Cooling System
Pressurizing Method				o	- Method Selection
Deionizing Equipment				o	- System Selection
Secondary Water			o		- Raw Water Intake
Structural Material				o	

Table A2-9 Constraints/Drivers List  
(Radwaste disposal and storage system)

I t e m	Mission	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generation of Rad-wastes</li> <li>• Treatment Methods</li> <li>• Treatment Capacity</li> <li>• Storage Method</li> <li>• Storage Capacity</li> <li>• Location of System</li> <li>• Layout</li> <li>• Limit of worker Exposure</li> <li>• Released Limit of Radio-activity to Atmosphere</li> <li>• Storage Period</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-maximum absorption of liquid</li> <li>-minimum overall package weight</li> <li>-resistance to corrosion</li> <li>-resistance to permeation and leakage of Tritium</li> </ul>

Table A2-10 Constraints/Drivers List  
(Control system)

Items	Mission Objectives Design Phil.	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
{SYSTEM} System configuration (over all)	○				Share of functions of subcontrollers Communication
System configuration (internal)				○	Share of roles of Computers and Hard-wired logics
Capacity of Computers			○		Quality of data
Plasma control	○				Control algorithm, performance of computers.
Plant control			○		Automation.
{Circumstances} Location	○				Transportation, Grounding
Climate (1)		○			Seizmic Vibration
Climate (2)			○		Temperature, Humidity
Utilities			○		Power supply
Layout		○		○	Arrangement of control room, Cable space Leakageflux, Radiation

Table A2-11 Constraints/Drivers List  
(Power supply system)

Items	Mission Objectives Design Philosophy	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Drivers	Critical Issues
Conditions of receiving power (Location)			○		Allowable maximum value and fluctuation rate of power
Requirements to sub-system				○	Power factor Interference
Demands from sub-system			○		Power pattern
Utility on site			○		Cooling water
Standard of electric system		○			
Safety guides		○			
Conditions of site		○			
Power distribution				○	Classification of loads Energy storage system (MG set)
Layout				○	

Table A2-12 Constraints/Drivers List  
(Site factory)

Items	Mission	Constraints (Intrinsic)	Constraints (Given)	Driver	Critical issues
Site location  Transportation conditions  Large reactor components (PFC, TFC, Vacuum Vessel & Port, etc.)  Classifications of reactor component fabrications between industry factory and site factory  Functions of site factory buildings  Layout	○	○	○	○    ○  ○	Selection of route, component weight & size, transportation methods  Parts structure of reactor components  Cost and schedule of fabrication  Function, and construction cost