



原研におけるクリーン化学分析所の整備
—高度環境分析研究棟(CLEAR)—

2003年2月

半澤 有希子・間柄 正明・渡部 和男・江坂 文孝・
宮本 ユタカ・安田 健一郎・郡司 勝文・山本 洋一・
高橋 司・桜井 聰・臼田 重和・安達 武雄・建設部

本レポートは、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。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 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。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

原研におけるクリーン化学分析所の整備 －高度環境分析研究棟（CLEAR）－

日本原子力研究所東海研究所環境科学部

半澤 有希子・間柄 正明・渡部 和男・江坂 文孝・宮本 ユタカ・安田 健一郎
郡司 勝文・山本 洋一・高橋 司⁺・桜井 聰・白田 重和・安達 武雄・建設部

(2002年12月4日受理)

原研で整備した、クリーンルームを有する実験施設である高度環境分析研究棟（CLEAR）について、設計、施工及び2001年6月の運用開始段階における性能評価までを概観する。本施設は、保障措置環境試料分析、包括的核実験禁止条約（CTBT）遵守検証及び環境科学に係る研究を目的として、環境試料中の極微量核物質等の分析を行うための施設である。本施設では、クリーンルームの要件と核燃料物質使用施設の要件とを両立した点及び、多量の腐食性の酸を使用した金属元素の微量分析に対応してクリーンルームの使用材料に多大な注意を払った点に大きな特徴がある。その他、空調及び空気清浄化の設備、クリーンフード等の実験用設備、分析施設としての利便性及び安全設備についてもその独自性を紹介し、さらに完成したクリーンルームについて、分析操作に対するバックグラウンド評価の結果を示した。本施設の整備により、環境試料中の極微量核物質等の信頼性のある分析を行うための条件が整った。

Establishment of a Clean Chemistry Laboratory at JAERI
- Clean Laboratory for Environmental Analysis and Research (CLEAR) -

Yukiko HANZAWA, Masaaki MAGARA, Kazuo WATANABE, Fumitaka ESAKA,
Yutaka MIYAMOTO, Kenichiro YASUDA, Katsumi GUNJI, Yoichi YAMAMOTO,
Tsukasa TAKAHASHI[†], Satoshi SAKURAI, Shigekazu USUDA, Takeo ADACHI

and Department of Construction

Department of Environmental Sciences
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 4, 2002)

The JAERI has established a facility with a cleanroom: the Clean Laboratory for Environmental Analysis and Research (CLEAR). This report is an overview of the design, construction and performance evaluation of the CLEAR in the initial stage of the laboratory operation in June 2001. The CLEAR is a facility to be used for analyses of ultra trace amounts of nuclear materials in environmental samples for the safeguards, for the CTBT verification and for researches on environmental sciences. One of the special features of the CLEAR is that it meets double requirements of a cleanroom and for handling of nuclear materials. As another feature of the CLEAR, much attention was paid to the construction materials of the cleanroom for trace analysis of metal elements using considerable amounts of corrosive acids. The air conditioning and purification system, specially designed experimental equipment to provide clean work surfaces, utilities and safety systems are also demonstrated. The potential contamination from the completed cleanroom atmosphere during the analytical procedure was evaluated. It can be concluded that the CLEAR has provided a suitable condition for reliable analysis of ultra trace amounts of nuclear materials and other heavy elements in environmental samples.

Keywords: The CLEAR, Cleanroom, Nuclear Materials, Environmental Samples, Trace Analysis, Construction Materials, Air Purification System, Experimental Equipment, Performance Evaluation, Safeguards

[†] Department of Safety Research Technical Support

目次

1.	はじめに	1
1.1	高度環境分析研究棟（CLEAR）整備の経緯	1
1.2	クリーンルームとは	2
1.3	CLEAR の要件	3
1.4	本論文の構成	5
 2. CLEAR の構成と機能		 7
2.1	建家の構成	7
2.2	各部の仕様・機能の詳細	8
 3. 空調と空気清浄化の設備		 15
3.1	クリーンルーム空気清浄化の方式と設備	15
3.2	空調設備	16
3.3	運転制御	19
 4. クリーンルームの施工		 22
4.1	クリーンルームの構造	22
4.2	クリーンルーム各部分の使用材料と施工仕様	22
4.3	クリーンルーム内使用材料の評価	25
 5. 実験室の設備		 28
5.1	クリーンフード（クリーンドラフト）	28
5.2	クリーンベンチ	31
5.3	クリーンルーム内純水・超純水設備	32
5.4	クリーンルーム内外のインターフェース	33
5.5	実験室用ガス等供給設備	36
5.6	クリーンルーム入退域管理システム	37
5.7	情報ネットワークシステム	38
 6. 安全設備		 40
6.1	放射線管理設備	40
6.2	火災対策	41
6.3	非常用シャワー設備	43
6.4	実験室の加熱機器対策	43
6.5	連絡・通話設備	44

6.6 安全警報設備（副警報盤）	44
7. その他の主要設備	45
7.1 電気設備	45
7.2 廃液処理設備	46
8. クリーンルームの性能評価	48
8.1 クリーンルーム As-built 試験	48
8.2 エリアプランク試験	50
9. 結語	51
謝辞	52
参考文献	53
付録	
1. クリーンルームの清浄度計算	127
2. 分析棟給排気系統運転のインターロック制御の考え方	131
3. クリーンルーム施工管理	132
4. クリーンフードのCLEAR 設置後の追加措置	134
5. クリーンルーム内什器等の仕様	136
6. 研究棟の設計・用途の詳細	137
7. クリーンルーム化学処理エリア詳細断面図（機械設備工事）	139
付録の参考文献	141

Contents

1. Introduction	1
1.1 History of the Establishment of the Clean Laboratory for Environmental Analysis and Research (CLEAR)	1
1.2 What is a Cleanroom?	2
1.3 Requirements of the CLEAR	3
1.4 Contents of this Report	5
 2. Constitution and Function of the CLEAR	 7
2.1 Composition of the Building	7
2.2 Details of Specification and Function of Each Part	8
 3. Air Conditioning and Purification System	 15
3.1 Air Purification System of the Cleanroom	15
3.2 Air Conditioning System	16
3.3 Operating Control	19
 4. Cleanroom Construction	 22
4.1 Structure of the Cleanroom	22
4.2 Construction Materials and Working Specifications of Each Part of the Cleanroom	22
4.3 Evaluation of Construction Materials of the Cleanroom	25
 5. Laboratory Equipment	 28
5.1 Clean Exhausted Fume hood	28
5.2 Clean Work Bench	31
5.3 Pure and Ultra-pure Water Services for the Cleanroom	32
5.4 Interface between Inside and Outside of the Cleanroom	33
5.5 Gas Service for the Laboratory	36
5.6 Cleanroom Entrance Control System	37
5.7 Network System	38
 6. Safety Systems	 40
6.1 Radiation Control System	40
6.2 Fire Protection	41
6.3 Emergency Shower System	43
6.4 Measures for Experimental Heating Devices	43

6.5 Communication System	44
6.6 Safety Alarm System (The Sub Alarm Panel)	44
7. Other Essential Equipment	45
7.1 Electrical Equipment	45
7.2 Liquid Waste Treatment System	46
8. Performance Evaluation of the Cleanroom	48
8.1 As-built Test of the Cleanroom	48
8.2 Area Blank Test	50
9. Conclusion	51
Acknowledgement	52
References	53
Appendix	
1. Estimation of Cleanliness of the Cleanroom	127
2. Concept of the Interlocking Control of Operation of the Supply Air and Exhaust Systems for the Analytical Building	131
3. Cleanroom Construction Protocols	132
4. Additional Steps for the Clean Exhausted Fume Hoods After the Installation in the CLEAR	134
5. Specifications of Laboratory Furniture in the Cleanroom	136
6. Design and Purpose of the Administration Building	137
7. Detailed Section of the Cleanroom Construction in the Chemical Treatment Area	139
References for Appendices	141

表目次

(第1章)

表 1.1 IAEA ネットワーク分析所	55-56
表 1.2 CLEAR 整備スケジュール	57
表 1.3 CLEAR における核燃料物質使用計画	59-60

(第2章)

表 2.1 CLEAR に導入された主な分析機器	61
--------------------------------	----

(第4章)

表 4.1 クリーンルーム建材の評価試験データ	62-63
-------------------------------	-------

(第6章)

表 6.1 CLEAR 副警報盤表示項目	64
----------------------------	----

(第8章)

表 8.1 クリーンルーム As-built 試験における試験項目及び判定基準	65
表 8.2 クリーンルーム As-built 試験における清浄度測定試験結果	66

(第9章)

表 9.1 最近の IAEA ネットワーク分析所のクリーン化学分析施設と CLEAR との仕様比較	67
---	----

(付録)

表 A.1.1 CLEAR クリーンルーム各室における清浄度の計算結果	129
---	-----

図目次

(第1章)

図 1.1	日本原子力研究所東海研究所構内配置図	68
図 1.2	保障措置環境試料分析のフロー図	69

(第2章)

図 2.1	CLEAR 施設外観	70
図 2.2	CLEAR 建家配置図	71
図 2.3	CLEAR 平面図	
	(a) 地下1階、ピット平面図	73
	(b) 1階平面図	75
	(c) 2階平面図	77
図 2.4	CLEAR 建家立面図	79
図 2.5	CLEAR 建家断面図	81
図 2.6	分析棟エリア分け図	83
図 2.7	分析棟機器配置図	85
図 2.8	クリーンルーム断面概念図	87
図 2.9	クリーンルーム 化学処理エリアの室内の一例 (A-06)	88
図 2.10	クリーンルーム 化学処理エリアの廊下の様子 (A-11)	89
図 2.11	クリーンルーム 天秤室(A-08)	90
図 2.12	クリーンルーム 機器分析エリアの室内の一例 (B-03)	91
図 2.13	サプライプレナムチャンバ平面図	92

(第3章)

図 3.1	分析棟 給排気系統図	93
図 3.2	クリーンルームの空調及び空気清浄化設備の概念図	95
図 3.3	ファンフィルタユニット (FFU) 図	96
図 3.4	クリーンルーム システム天井伏図	97
図 3.5	分析棟 室圧設定図	98
図 3.6	分析棟 給排気系統エリア分け図	99
図 3.7	分析棟 非常用電源系 (EG系) による運転範囲図	100

(第4章)

図 4.1	クリーンルーム詳細断面図 (建築工事)	101
図 4.2	クリーンルーム化学処理エリア断面模式図	103
図 4.3	クリーンルーム三方枠扉下部収まり詳細図	104

(第5章)

図 5.1 汎用クリーンフード	105
図 5.2 過塩素酸用クリーンフード	106
図 5.3 簡易型クリーンベンチ概念図	107
図 5.4 循環型クリーンベンチ	108
図 5.5 分析棟 純水・超純水配管概念図	109
図 5.6 分析棟 純水製造装置フロー図	110
図 5.7 分析棟 超純水製造装置フロー図	111
図 5.8 クリーンルーム用床貫通箱形スリーブ	112
図 5.9 分析棟 床貫通箱形スリーブ配置図	113
図 5.10 箱形スリーブによるクリーンルーム内外の床貫通の様子	114
図 5.11 クリーンルーム外壁ペネトレーション部断面概念図	115
図 5.12 クリーンルーム 液体窒素供給用真空断熱配管設備概念図	116
図 5.13 CLEAR 情報ネットワーク構成概念図	117

(第6章)

図 6.1 CLEAR 放射線管理設備 ダストモニタ配管系統図	118
図 6.2 分析棟 火災検知器設置概念図	119
図 6.3 超高感度煙検知システム原理図	120
図 6.4 非常用シャワー設備配管系統概念図（クリーンルーム内）	121

(第7章)

図 7.1 分析棟 管理区域廃液貯槽設備系統図	122
図 7.2 分析棟 非管理区域中和処理装置フロー図	123
図 7.3 分析棟 非管理区域中和処理装置動作フロー図	124

(第8章)

図 8.1 クリーンルーム As-built 試験における清浄度回復特性曲線	
(a) 運転停止時	125
(b) 再起動時	126

(付録)

図 A.4.1 汎用クリーンフード本体前面整流板取付部側面詳細図	135
図 A.7.1 クリーンルーム化学処理エリア詳細断面図（機械設備工事）	139

This is a blank page.

1. はじめに

1.1 高度環境分析研究棟（CLEAR）整備の経緯

1990 年代初めに発覚したイラク及び北朝鮮における「核開発疑惑」は、核物質を対象とした申告に基づく従来の IAEA（国際原子力機関）保障措置制度の限界を認識させることになった。そのため、秘密裡に軍事目的に転用されている疑いが持たれるような未申告の核物質及び未申告の原子力活動の検知をも可能とするよう、IAEA の機能を強化することが求められ、IAEA は 1993 年に保障措置の強化・効率化策である「93+2 計画」に着手した¹⁾⁻³⁾。1995 年に現行保障措置協定内の方策である同計画第 1 部が合意され、1997 年には従来の協定の枠組みを拡大する同計画第 2 部として「モデル追加議定書」⁴⁾が採択された。日本はこれに 1998 年に署名し、対応する国内法改正を 1999 年に行っている⁵⁾。

この「93+2」計画の中で、新たに「保障措置環境サンプリング」手法が導入された。これは、原子力施設の内外で環境試料を採取し、その中に含まれる極微量 ($10^{-9} \sim 10^{-15}$ g) の核物質を化学的に調べることにより、未申告の核物質や原子力活動が存在しないことを検認することを目的としたものである。この手法は、ウラン濃縮や使用済核燃料の再処理によるプルトニウム抽出等の原子力活動を行うと、必ずその痕跡が周辺環境中に放出されるという考え方に基づいたものであり、核物質の量だけでなく、それらの同位体組成 (^{233}U 、 ^{235}U 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu といった核分裂性核種の存在度、同位体濃縮や原子炉内照射による ^{234}U 、 ^{236}U 等の核種の天然の存在度からの変化など) が、活動内容を推定する上でむしろ重要な関心事である。現行の制度で採取される試料は主に施設の壁等を綿布により拭き取ったスワイプと呼ばれるものである。IAEA による環境試料採取は 1996 年より本格的に開始しており、査察官が採取した試料は IAEA 保障措置分析所及び各國の IAEA ネットワーク分析所にて分析される^{2), 3)}。現在 IAEA ネットワーク分析所に参加している分析所の一覧を表 1.1 に示す³⁾。またこれとは別に日本では、IAEA 保障措置受け入れに対応して、国内保障措置制度をも確立しており、その枠組みに基づく保障措置環境試料の採取も開始されている⁶⁾。

環境試料に含まれる極微量元素の核物質の同位体組成分析において信頼性の高い結果を得るために、周辺環境からの汚染を排除したクリーンルーム環境で分析操作を行う必要がある^{2), 3)}。しかしアジア地域にはこれまで、保障措置環境試料の化学分析を可能とするクリーンルーム施設が存在しなかった。日本国内保障措置環境試料の分析を行い、また国際貢献として IAEA ネットワーク分析所に参加するために、科学技術庁（現・文部科学省）は日本原子力研究所に対し、保障措置環境試料分析のための極微量元素分析技術の開発と並んで、クリーンルームを有する化学分析施設を整備することを委託した。このうち、分析技術の開発については、電源開発促進対策特別会計（特会）受託事業「保障措置環境分析開発調査」として、1996 年度より着手され、現在に至っている。クリーンルーム施設については、「クリーン化学分析所」として、当初特会事業の枠内で既存施設の改修により整備する予定であったが、1998 年度当初の第 2 次補正予算で、一般会計予算（1998 ~ 2001 年度の 4 年間にわたる国庫債務負担行為）による施設新設が決定された。こうして高度環境分析研究棟（Clean Laboratory for Environmental Analysis and Research: CLEAR）

は、1)保障措置環境試料分析（技術開発及び試料分析）、2)包括的核実験禁止条約（CTBT）遵守検証のための放射性核種公認実験施設の一部としての活用、3)環境科学に係る基礎研究、を三大目的として、整備が開始され、2001年6月より運用が開始された。

CLEAR の整備に当たっては、先行するネットワーク分析所を擁し、保障措置クリーン化学分析施設の整備と運用の経験を持つ、米国エネルギー省（DOE）の専門家らの協力を得た。協力は原研と DOE との間の「保障措置分野に係る特定覚書取決め」に基づき、具体的な項目ごとに締結した行動計画書（AS）に則って行われるが、本施設整備に関わる部分は、原研クリーン化学分析所計画に係る計画・調整グループの設置（AS11、1996 年度～ 2002 年度）、保障措置クリーン化学分析施設に要求される事項をまとめた「システム要件文書」の作成（AS12、1996 年度及び AS15、1997 年度）、施設の基本設計及び実施設計のレビュー（AS14、1998 年度）、分析所の品質保証／品質管理手法の確立に係る指針書・手順書の作成（AS17、1999 年度及び AS18、2000 年度～ 2002 年度）などである。

施設整備の全体スケジュールを、必要な許認可等の手続きを含めて表 1.2 に示す。本施設では、後述するように分析において核燃料物質の使用が必要となることから、核燃料物質使用施設として許可を取得し、管理区域を設定していることが特徴の一つである。

施設の立地は、極微量分析のためのクリーンルーム施設であるということから、1)核燃料施設等からの放射性物質放出による影響が少ないと、2)海水中のウランの影響及び塩害が少ないと、3)粉塵、排気ガス等の影響が少ないと、4)保安林及び希少植物生息地を回避すること、などの観点で東海研究所構内の複数の候補地の中から検討し、図 1.1 に示すように JRR-3 西側に決定した。

CLEAR の実施設計は(株)日本設計を請負者として行われた。建設工事は建築工事、電気設備工事、機械設備工事、ファンフィルタユニット設備工事の 4 本立てとして、建築工事は大成建設(株)、電気設備工事は(株)関電工、後二つの工事は日立プラント建設(株)／日比谷総合設備(株)共同企業体 (JV) により行われた。このほかに、放射線管理設備、実験用設備等は別途工事として整備された。

1.2 クリーンルームとは

「クリーンルーム」とは、JIS の定義によると「コンタミネーションコントロールが行われている限られた空間であって、空気中における浮遊微小粒子、浮遊微生物が限定された清潔度レベル以下に管理され、また、その空間に供給される材料、薬品、水などについても要求される清潔度が保持され、必要に応じて温度、湿度、圧力などの環境条件についても管理が行われている空間」である^{7), 8), 9)}。

*1 クリーンルームの定義の範囲は規格ごとに異なるが、本施設に対しては浮遊微粒子の制御以外にも言及した JIS の定義が最も適切であると考えられる。なお「コンタミネーションコントロール」という用語は JIS の定義では「清潔度管理」と同義に用いられている。

*2 浮遊微粒子の制御を行っていない大気中の微粒子の数は、海洋上の比較的きれいな場所で ISO クラス 8 程度、都市では ISO クラス 10 程度にもなるという⁸⁾。

空気を清浄化する基本的な手段は、HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタや ULPA (Ultra Low Penetration Air) フィルタといった高性能フィルタにより濾過した空気を供給し、気流に乗せて当該空間内の粒子を排出（排気または循環による繰り返し濾過）することによる、空気中の浮遊微粒子濃度の制御である^{8), 9)}。同時に、外部からの汚染の侵入を防ぐため、当該空間内の気圧を周囲に比べて正圧に保つことも一般的に行われている⁹⁾。

クリーンルームの清浄度は「清浄度クラス」という形で等級分けされている。清浄度クラスには、数種類の規格に基づく定義が存在する。従来は、米国連邦規格 209 シリーズ（最終版は 209E）がクリーンルームの規格として一般的に用いられてきた¹⁰⁾。これは空気 1 立方フィート (cf) 中に存在する粒径 0.5μm 以上の粒子の個数の上限値（粒子濃度限度）で清浄度を定義したものである。しかし SI 単位系への移行や国際的標準化の流れの中で、米国連邦規格 209E は 2001 年 11 月 29 日をもって廃止となり、ISO14644 シリーズに移行することとなった¹¹⁾。ISO 規格における清浄度の表現は、空気 1 立方メートル当たりの粒径 0.1μm 以上の粒子の濃度限度を 10 のべき乗で表現した場合のべき指数として定義されている¹²⁾。連邦規格 209E と ISO 規格との間には一定の対応関係が設けられている。なお JIS 規格における清浄度クラスの定義は ISO 規格と同じ考え方に基づいている¹³⁾。CLEAR のクリーンルームの設計、施工、性能評価においては、清浄度に関する規格はすべて米国連邦規格 209E を適用しており、本稿においても特記なき限り同規格に従った表記を用いた。

1.3 CLEAR の要件

1.3.1 分析内容による要件

CLEAR で行われる保障措置環境試料分析に係る分析内容は、バルク分析、パーティクル分析及びスクリーニングに大別される¹⁴⁾。分析のスキームを図 1.2 に示す。

バルク分析は、試料を化学処理により全分解し、目的元素（核物質としては主にウラン、プルトニウム）の分離精製等を行った後、定量分析並びに同位体比測定を行うものである。この方法では試料中の核物質の同位体比の平均値が求められ、未申告施設の存在を検知するのに適している。対象となる試料はスワイプ試料の他、水試料、植物試料、土壤試料等を視野に入れている。測定手段は、誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS)、表面電離型質量分析 (TIMS) 並びに、 α 線スペクトロメトリ等の放射線計測も併用する。

パーティクル分析は、主にスワイプ試料中の個々の微粒子に含まれる核物質の同位体比測定を行うものであり、未申告活動（既存の施設におけるものも含む）の検認に適している。粒子をスワイプ試料から回収して測定用の試料を調製し、まず全反射蛍光 X 線分析 (TXRF) による元素分析を行って目的元素の有無を確認する。続いて電子プローブ X 線マイクロアナライザー (EPMA) により、目的元素を含む粒子を特定した後、二次イオン質量分析 (SIMS) により目的粒子中の元素の同位体比測定を行う。測定する粒子は最小で 1μm 前後の粒径のものを対象とする^{15), 16)}。

クリーンルーム内で行うバルク分析及びパーティクル分析に先立ち、目的元素の含有量が極端に大きな試料を持ち込むことによりクリーンルームが汚染するのを回避するため、スクリーニングを行い、試料をクリーンルーム内で取り扱うか否かを事前に判断する。スクリーニングの手段

には主に高分解能 Ge 半導体検出器やイメージングプレート等による、低バックグラウンド放射線計測を用いる。クリーンルーム内に持ち込む試料のレベルは試料当たり 1Bq 以下を目安とする。

本施設では、上記の保障措置環境試料分析の他に、CTBT 遵守検証のための試料分析や環境科学研究も目的としているが、これらは対象元素の違いはあっても、行う分析操作は基本的に同様である。

従って CLEAR は、環境試料の湿式化学処理、機器分析、粒子試料の取り扱い、放射線計測などといった上記の分析作業が行えるような仕様及び機能を持つことがまず求められた。

1.3.2 クリーン化学分析施設の要件

クリーンルームは、半導体産業、食品産業、医療関連分野等で、今や一般的な設備となっているが^{8), 9)}、化学分析用のクリーンルームはまだ一般的なものとは言えない。クリーン化学分析施設の最も大きな特徴は、分析過程において腐食性の高い酸が多量に使用される点である¹⁷⁾。CLEAR においても、特にバルク分析における試料の湿式分解において、硝酸、塩酸、過塩素酸、フッ化水素酸等の酸が使用され、蒸発乾固操作等も想定される。一方、本施設のような無機重元素を分析対象とする施設では、分析過程において周辺環境からの金属元素の混入による汚染を避けることが、クリーンルームの必要理由にも関わる最重要課題である。これらのことから、クリーン化学分析施設の設計・施工には、一般のクリーンルームとは大きく異なる配慮が必要となる。すなわち、クリーンルームと設備機器の構成材料を腐食から守り健全性を維持するため、また構成材料自体が金属微粒子を放出する汚染源とならないために、原則として金属材料の使用は望ましくなく、できる限り樹脂製のものを使用するか樹脂塗装を施す必要がある。本施設のクリーンルーム施工については第 4 章にて具体的に述べる。なお、本施設はあくまで無機元素の極微量分析を目的とした配慮がなされたものであり、内分泌擾乱物質等の有機物の微量分析に適したものではない。

分析過程において汚染の影響を受ける決定的な段階は化学処理プロセスである¹⁷⁾。このためクリーンルームの清浄度の設定においては、特に化学処理を行う部屋及び作業面について合理的に達成しうる限りの高清浄度とすることが望ましい。

CLEAR での活動においては、化学処理だけでなく、質量分析を中心とする機器分析も重要な位置を占める。清浄度の観点のみならず、分析施設として機能を発揮するためには、必要な電気設備、各種供給設備等が求められるのはもちろん、極微量分析を目的として精密分析機器の性能を最大限に生かすため、動作環境の温湿度制御が必要であり、振動、電気的ノイズ等に対する配慮も重要である。

さらに、現実のクリーン化学分析施設での活動に当たっては、外部からクリーンルーム内への物資の搬出入や作業者の出入りといった周辺事項についても清浄度維持の観点で考慮する必要があるほか、関連諸法規に対応し、作業者の安全を確保するための対策も必要となり、運用方式を見込んで予め設計に反映させる必要がある。

1.3.3 核燃料物質取り扱いの要件

CLEAR では核物質等の同位体組成分析が行われることから、測定機器の校正等のための標準物質や同位体希釈分析のスパイクとして、極微量であるが核燃料物質を取り扱う必要がある。本施設ではプルトニウムや核分裂性のウランをも使用する必要があることから、核燃料物質使用施設（東海研究所においては少量核燃料物質使用施設に分類される）として許可を受けている。本施設で取り扱われる核燃料物質の種類と量を表 1.3 に示す（許可取得上は、核燃料物質使用に係る考え方の特殊性を考慮して、この 5 倍程度の量を申請している）。

また、日本の法規では、管理区域設定の基準として、1)外部放射線に係る線量が三月につき 1.3mSv、2)空気中の放射性物質の三月についての平均濃度が空气中濃度限度の 1/10（三月につき 1.3mSv に相当）、3)表面汚染密度が表面密度限度の 1/10 (α 線放出核種については $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当)、のいずれかを超えるおそれがある場合、と定めている¹⁸⁾。このうち CLEAR では非密封のスパイク等を使用する際に表面汚染密度の規定に抵触するおそれがあることから、管理区域を設定する必要がある。

管理区域の機能として、放射性物質を当該空間内に閉じ込めることがまず求められる。このため管理区域内の気圧は一般に周辺環境に対して負圧に保つ必要があり、このことと正圧管理により汚染の侵入を防ぐというクリーンルームの要件とを両立させる必要がある。また管理区域の出入口は原則として 1箇所に限定して汚染検査室を設け、物品を管理区域外に搬出する際には汚染のないことを検査により確認する必要があること¹⁹⁾や、管理区域内の設備等のメンテナンス作業も管理区域内で行う必要があること等から、施設の設計及び管理区域設定範囲の決定に当たっては、作業をスムーズに行えるような動線を考慮する必要がある。

1.4 本論文の構成

本論文は、以上に述べてきたような経緯により原研で整備したクリーンルーム施設、高度環境分析研究棟 (CLEAR) について、設計、施工及び運用開始段階における性能評価までを概観するものである²⁰⁾。

本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では、本施設整備の経緯及び本施設に求められる諸機能、諸要件を述べた。これらは、本施設の設計、施工の根幹となるものである。

第 2 章では、本施設の基本設計に当たる、施設の構成及び仕様、機能について述べる。これらは、第 1 章で述べた諸機能、諸要件を本施設の設計においてどのように具体化したかを示すものであり、以降の各章ではここで示した仕様、機能を実現した過程を追うことになる。

第 3 章では、本施設の最大の特徴であるクリーンルームを中心に、空気清浄化及び空調設備について概観する。

第 4 章では、第 3 章に並んで本施設のクリーンルームの大きな特徴である、化学分析施設としての施工仕様について、具体的に紹介する。

第 5 章では、実験室の設備として、化学分析操作や、分析施設としての利便性等のために導入したもののうち、本施設において特徴的なものについて紹介する。

第 6 章では、施設において安全性の観点は、目的とする作業と並んで重要であることから、本施設に設けた安全設備について概観する。

第7章では、上に述べた以外で施設運用上不可欠の設備についてふれる。

第8章では、本施設のクリーンルームの性能評価について述べ、本施設整備の目的が達成されたことを示す。

第9章では、結語として本論文全体を総括し、本施設の将来展望についてふれる。

なお本論文は内容の一部に、電源開発特別会計による文部科学省委託研究「保障措置環境分析開発調査」の成果の一部を含んでいる。

2. CLEAR の構成と機能

2.1 建家の構成

CLEAR は研究棟と分析棟との二つの建家から構成されている。総延面積は $3,052\text{m}^2$ である。本施設の外観を図 2.1、配置図を図 2.2、平面図を図 2.3(a)～(c)、立面図を図 2.4、断面図を図 2.5 に示す。

両建家の構造等は次の通りである。

●研究棟

地上 1 階、延面積 729m^2

鉄筋コンクリート造

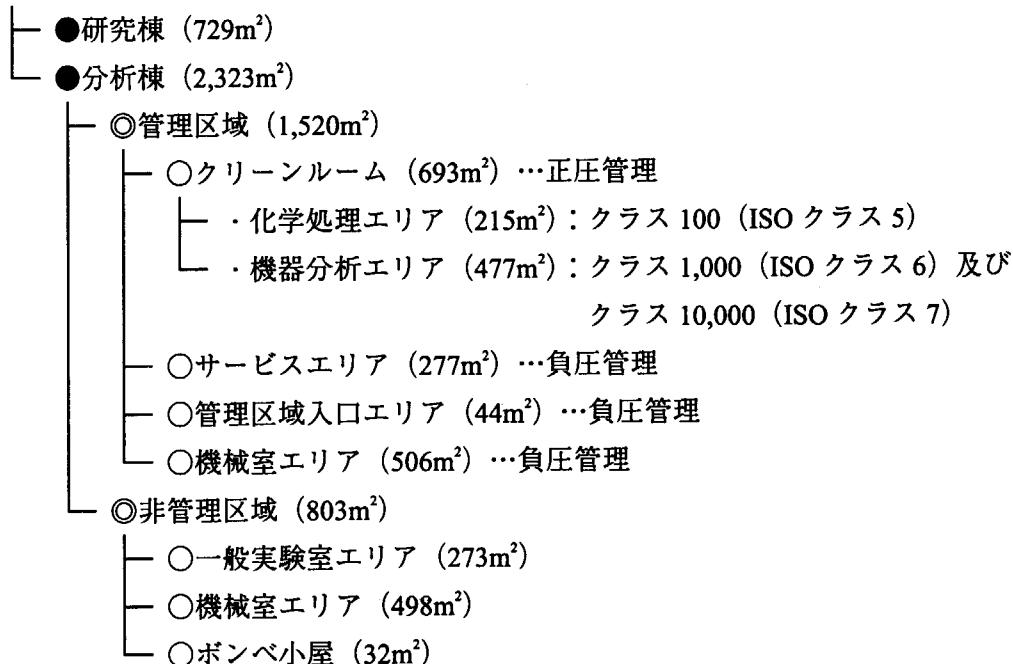
●分析棟

地上 2 階、地下 1 階、延面積 $2,323\text{m}^2$

鉄筋コンクリート造一部鉄骨造

建家の構成は以下の通りである。分析棟の各エリアを表示した平面図を図 2.6 に示す。

※高度環境分析研究棟 ($3,052\text{m}^2$)



建家の構成においては、以下のような点に留意した。

- 作業の効率性及び居住環境の観点から、居室及び施設管理の機能と、実験室及び付帯設備の機能とを分離して、それぞれ研究棟、分析棟にまとめた。
- 実験室としてクリーンルームだけでなく、非管理区域の一般実験室を設けた。これはクリーンルームでの研究・分析活動をサポートする目的と、実験室が管理区域内のものだけでは実

験施設としての使い勝手が良くないという理由による。

- c.クリーンルームでの活動や機器の維持管理等をサポートするため、クリーンルームを取り囲む形でサービスエリアを設け、同時にこれを負圧管理とすることによって、管理区域に求められる放射性物質の閉じ込めを達成した。
- d.クリーンルームの中では、化学処理エリアと機器分析エリアとを分離した。これは、試料の分解や元素分離等の化学処理では酸が多用される一方、精密分析機器は酸をきらうこと、作業の効率性、必要とされる清浄度の違いなどの理由によるものである。
- e.クリーンルーム内における各エリアの配置は、相互汚染を小さくするために動線を考慮した。すなわち、清浄度の低いエリアから入室し、奥に進むに連れて清浄度の高いエリアに入っていくような形とした。

なお、クリーンルームは空気清浄化設備の一種として、分析棟建家の中にプレハブパネル方式（パーテイション）により設置した。その工事は機械設備工事の所掌により行われた。

2.2 各部の仕様・機能の詳細

2.2.1 研究棟

研究棟は、クリーンルームを用いた実験研究を行う関係者の居室を設け、施設の管理・監視機能を持たせた上、保障措置及び CTBT に係る国際的な交流等における活用も視野に入れて設計した。施設の立ち入りは研究棟から行い、施設全体について外部環境の汚染の持ち込みを防ぐために土足では立ち入らないような設計になっている。なお本施設はクリーンルームへの汚染の持ち込みを防ぐために施設全体が禁煙であり、施設内に喫煙スペースを設けていない。

各部屋の用途と位置づけの詳細を付録 6 に収録した。

2.2.2 分析棟

分析棟の機器配置図を図 2.7 に示し、クリーンルームエリアの断面を模式的に表現したもの図 2.8 に示す。

2.2.2.1 化学処理エリア（A エリア）

化学処理エリアは、主にバルク分析における環境試料の分解、元素分離、測定試料の調製等を行うエリアである。極微量分析においてこれらの過程は特に汚染の影響が大きいところであるため、清浄度クラス 100 (ISO クラス 5) のクリーンルームとした。実際の操作は、局所的にさらに清浄度を高めたクリーンフード及びクリーンベンチで行う。

このエリアでは、3.1 節に述べるように、高い清浄度レベルを達成するために、空気の循環にはグレーチングを用いたレイズドフロア及びリタンプレナムチャンバを採用した。清浄度レベルが高いこと及び極微量分析において最も汚染をきらう化学処理を行うことから、エリア内の流し台等の水栓にはすべて超純水をセントラル配管により供給している。また、クリーンルームの中でも特に酸が多用され、また化学処理過程での重金属汚染を避ける必要があることから、使用材

料は特に金属の露出を避ける仕様とした。同様の考え方で、スピーカ、電話及びペーディングといった機器も室内には設けず廊下のみの設置とした。化学処理エリアの室内の一例を図 2.9、廊下の様子を図 2.10 に示す。

各室の作業内容と仕様・機能は以下の通りである。

● A-01 ~ A-03 室（前処理室(1)~(3)）

試料の分解処理を行う実験室である。相互汚染を避けるため、用途別に部屋を使い分けるよう、3 室を割り当てた。A-01 室は乾式灰化、A-02 室は水試料等の比較的処理が簡易な試料、A-03 室は酸を多用した湿式灰化である。A-01 室では雰囲気制御して試料の灰化が行えるよう、サービスエリアからの酸素ガス及び窒素ガスの供給を可能とした。A-03 室には過塩素酸及びフッ化水素酸の使用を可能とする特別なクリーンフードを設置し、サービスエリアのスクラバーと接続した。そのためこの 2 室はサービスエリアに面した配置とした。A-01 及び A-03 室には、試料分解装置からの排気に対応するための排気ダクトを設けた。

● A-04 ~ A-07 室（化学処理室(1)~(4)）

目的元素の分離、精製及び ICP-MS、TIMS、放射線測定等の試料調製を行う実験室である。

● A-08 室（天秤室）

試料の秤量を行う部屋である。スワイプ試料等粒子を含む試料の取り扱いによる相互汚染を避けるため、4 台の天秤台をそれぞれパーティションで隣のものと隔てた。天秤台の上の天井には低風量型のファンフィルタユニット (FFU) を採用して微風 (0.23m/s) を送り、天秤台の直近の床にグレーチングの開口部を配置して、粒子が拡散することなくリタンプレナムチャンバ内へと排出されるような設計とした（図 2.11 参照）。

またこの部屋には、清浄度への配慮から、秤量結果を紙を使わずに記録するため、化学処理エリア内で唯一情報コンセントを設けた。

● A-09 室（試薬調製室）

CLEAR での化学処理に用いる試薬は市販の高純度試薬を購入するが、使用に際し試薬の調製を行う部屋である。またスワイプのサンプルキットを調製する場合にはこの部屋で作業が可能である。

● A-10 室（管理用具室(1)）

化学処理エリア内で使用する清掃用具、測定器、消耗品等の保管のために設けた部屋である。

● A-11 室（廊下(1)）

化学処理エリア内で唯一連絡・通話設備等を設けた場所であるとともに、サービスエリアへの非常口も 2 箇所設けた。これらの扉は清浄度維持のため常閉とし、平常時の出入りには使用しない。

2.2.2.2 機器分析エリア（B エリア）

機器分析エリアのうち、B エリアは清浄度クラス 1,000 (ISO クラス 6) のクリーンルームとした。このエリアでは、精密分析機器による測定を行うほか、化学処理エリアなどの清浄度を必要としない作業や、クリーンルーム内での分析作業のサポート的な作業も行う。設置する分析機器

の重量に耐えるため、床はコンクリートのスラブとし、部分的にグレーチングによる吸込口を設けて、ここからリタンダクトを通して空気を循環する方式とした（図 2.8 参照）。清浄度に配慮し、流し台等の水栓には純水をセントラル配管により供給している（必要に応じ部屋ごとに小型の超純水製造装置を使用する）。機器分析を行う部屋では特に温湿度を厳密に制御している。

各室の作業内容と仕様・機能は以下の通りである。なお設置した主な分析機器を一般実験室も含めて表 2.1 にまとめた。機器分析エリアの室内の一例を図 2.12 に示す。

● B-01 室（質量分析室(1)）

ICP-MS による質量分析を行う測定室である。高分解能型、マルチコレクター型、四重極型の 3 台の機器を設置した。試料の希釈等のため、クリーンフードを 2 台設置した。

● B-02 室（質量分析室(2)）

パーティクル分析を行うための測定室として、TXRF、EPMA、SIMS を設置した。

● B-03 室（質量分析室(3)）

TIMS による同位体比測定を行う測定室である。試料導入部の上に当たる天井には特に FFU を設けて清浄空気を送る設計とした。

● B-04 室（放射能測定室）

Ge 半導体検出器、イメージングプレート、 α 線検出器、液体シンチレーションカウンタなどによる放射線計測を行う測定室である。イメージングプレートについては、クリーンルーム内に遮蔽箱のみを持ち込んでいる。

● B-05 室（機器搬入室）

クリーンルーム内に大型機器や物品を持ち込む際の搬入口であり、持ち込み前の最終清掃を行うためのスペースとして設けた。小型物資の日常的搬出入のためパスボックスを設けた。搬入時に、クリーンルーム内とサービスエリアとが通じてしまわないよう、B-05 室のサービスエリア側搬入口扉と廊下（B-12）への出口扉との間、並びに搬入口扉と B-06 室の入口扉との間にはインターロックを設けた（図 2.7 参照）。

クリーンルーム内への大型機器の搬入は、E-02 室（空調機械室）の搬入口から入り、E-05 室（機器搬入準備室）及びサービスエリアを経由して B-05 室から搬入するルートとなる。

● B-06 室（器具洗浄室）

クリーンルーム内で使用する実験器具等の洗浄のために設けた部屋である。酸や純水による煮沸洗浄に対応するため、クリーンフードを 3 台設置した。また FFU からの清浄空気により洗浄した器具を乾燥するスペースを設けた。

● B-07 室（標準試料調製室）

施設内で使用する核燃料物質を保管し、スパイク等の分取や希釈を行うための部屋である。

● B-08 室（化学準備室）

将来の機能拡張に備えて設けた予備室である。フィッショントラック法の粒子ピッキングに充分なスペースを確保した。また用途変更に備え、クリーンベンチは移動が可能な循環型を採用した。

● B-09、B-10 室（器具保管室(1)(2)）

B-09 室には化学処理エリアに超純水を供給するための超純水製造装置を設置した。B-10 室はクリーンルーム内で使用する消耗品や測定器等を保管するために設けた部屋である。

● B-11 室（管理用具室(2)）

機器分析エリア内で使用する清掃用具等を保管するための部屋である。

2.2.2.3 機器分析エリア (C エリア)

一般環境との境界に、清浄度クラス 10,000 (ISO クラス 7) の低清浄度エリアを設けた。空気の循環は B エリアと同じく床の吸込口とリタンダクトによって行う。各室の作業内容と仕様・機能は以下の通りである。

● C-02（試料保管室）

保障措置環境試料をルーチンで受け入れることになった際に、試料を受け取り保管しておくための部屋として設けた。スクリーニングも可能であるよう、循環型のクリーンベンチを 3 台設置した。これらの作業は粒子の汚染源となる可能性があることから、クリーンルームのその他の部分を汚染しないよう、動線を隔離し、サービスエリアから直接入室する配置とした。流し台には純水が供給されている。

● C-03（粒子処理室(1)）

パーティクル分析のための粒子試料の回収、測定試料の調製を行うために設けた部屋である。この作業も汚染源となるおそれがあることから、C-02 室と同様に、クリーンルームのその他の部分と動線を隔離し、サービスエリアから直接入室する配置とした。パーティクル分析を行う B-02 室との間に、調製した測定試料の受け渡しのためのパスボックスを設けた。この部屋も流し台には純水が供給されている。

● C-04（放射線管理室(1)）

管理区域の放射線管理のために、スミア濾紙の放射線測定や、廃液の蒸発乾固等を行えるように設けた部屋である。清浄度はそれほど必要とされないため、排気フードとして RI 用オークリッジフードを設置し、什器類は一般実験室仕様である。流し台には浄水が供給されている。

● C-05（放射線管理室(2)）

管理区域から退出する際の汚染除去は汚染検査室で行うが、実質的に核燃料物質を使用するのはクリーンルーム内に限定されていることから、クリーンルームを退出する際に予備的な汚染除去を行えるように設けた部屋である。汚染除去用の手洗い器を設置し、浄水が供給されている。

● C-06、C-07（更衣室：女子／男子）

クリーンルームへの入室に当たり、クリーンルーム用の無塵衣を着用するための更衣室を男女別に設けた。クリーンルームへの出入口は原則としてこの 2 箇所である。無塵衣を清浄な状態で保管するためのクリーンロッカーを設置した。

2.2.2.4 サービスエリア (C-01)

クリーンルームは前述のように分析棟建家の中にパネル方式により設置されており、その周囲

の部分がサービスエリアである。すなわちサービスエリアはクリーンルームを立体的にすっぽりと包み込む形になっている（図 2.8 参照）。このサービスエリアまでを管理区域とし負圧管理とすることによって、正圧のクリーンルームを有する施設で放射性物質の閉じ込めを達成し、核燃料物質の使用を可能とした。

サービスエリアの本来の機能は、クリーンルーム作業のサポートである。サービスエリアは平面的に見るとクリーンルーム周囲の回廊として認識されるが、ここに配電盤、各種設備機器の制御盤、クリーンルーム内流し台の排水トラップ（床下）等が設置されている。これらはいずれも、クリーンルーム内に設置すると汚染の可能性があり、またクリーンルームに立ち入らずにメンテナンスを行えるようにするための措置である。クリーンルーム内の分析機器の周辺機器（変圧器、冷却水循環装置、真空ポンプ等、特に発塵源となる回転・動力機器類）も同様の理由でサービスエリアに設置したほか、クリーンルーム内で使用するガス等のユーティリティもサービスエリアから供給する方式とした。サービスエリアには冷却水循環装置の冷却水交換など、メンテナンスの利便性を考慮して流し台を設置した。その他サービスエリアでは、クリーンルームへの物資の搬入準備などの作業、クリーンルーム内で使用する試薬等の保管も可能である。またクリーンルームの外壁には窓を設け、CLEARへの訪問者が回廊からクリーンルーム内を見学することも可能とした。

サービスエリアとクリーンルーム内とのインターフェースについては 5.4 節に詳述する。

サービスエリアを立体的に見ると、クリーンルームのプレナム天井の上の部分もサービスエリアの一部である（図 2.8 参照）。ここにはクリーンルーム各室の空調設備の機器等が設置され、メンテナンス上重要なスペースである。

2.2.2.5 管理区域入口エリア

管理区域として、一般の核燃・RI 施設と同様に求められる設備・機能を持ったエリアである。

C-09 室は廃棄物一時保管室であり、施設内で発生した放射性廃棄物を施設外に搬出するまでの間保管するために、可燃・不燃別に耐火性のキャビネットを設置した。C-10 室は汚染検査室であり、管理区域への出入りは原則としてここ 1 箇所である。汚染検査室の要件である汚染検査設備（ハンドフットクロスモニタ、サーベイメータ）、更衣設備（黄色実験衣着用、作業靴交換）、洗浄設備（手洗い器）を備える¹⁹⁾ほか、所内指導に従い個人線量計装着確認装置を設置している（入域時のみチェック）。

2.2.2.6 一般実験室エリア（D エリア）

一般実験室は、クリーンルームでの活動をサポートし、さらに CLEAR の施設全体の能力を拡張するために設け、非管理区域とした。クリーンルームでの活動に付随する作業で、汚染の可能性があるためクリーンルーム内で行えないものの例としては、試料のスクリーニング、クリーンルームに持ち込む前の物資の開封・検査・清掃・梱包、分析機器の部品の洗浄（TIMS のイオン源等）等が挙げられる。またその他に、濃度レベルの高い試料の取り扱いも含む予備実験や、保障措置環境試料分析以外の環境科学的研究にも活用できる。

一般実験室内にもクリーンフード及びクリーンベンチ（循環型）を設置し、クリーンルームで

の活動を意識して比較的簡易に清浄な作業空間が確保できるようにした。このエリアに配管で供給される水は浄水であり、必要に応じ部屋ごとに小型の純水及び超純水製造装置を使用することとした。また一般実験室エリア内でも、機器分析の機能と化学処理の機能とは分離した。なお一般実験室への搬入及び管理区域への比較的小型のものの搬入のため、D エリアの廊下に搬入口を設けたほか、南側の屋外には、大気サンプリングなどの屋外実験の際に電源を供給する開閉器盤を設けた。

各室の作業内容と仕様・機能は以下の通りである。

● D-01 室、D-01-1 室（一般実験室(1)、粒子処理室(2)）

パーティクル分析を行うための測定室である。走査型電子顕微鏡（SEM）及び光学顕微鏡を設置し、形態観察等を重視した機能とした。粒子試料の調製はクリーンルーム内と同様の考えに基づき、隔離した小部屋で行うこととし D-01-1 室を設け、クリーンフード及びクリーンベンチを設置した。

● D-02 室（一般実験室(2)）

放射線計測を行うための測定室である。Ge 半導体検出器等が設置され、またクリーンルーム内に設置されたイメージングプレートのデータ処理システムを設置している。

● D-03 室（一般実験室(3)）

質量分析を行うための測定室である。バルク分析に関連する測定に便利な四重極型の ICP-MS を設置したほか、大気中の希ガスの同位体比測定を行うための希ガス質量分析装置（Xe-MS）を設置している。ICP-MS の測定試料調製用にクリーンフードを設置した。

● D-04 室、D-05 室（一般実験室(4)(5)）

汚染検査室等を隔てて配置したこの 2 室は、化学処理を目的とした実験室である。その中でも相互汚染を防ぐため目的に応じて使い分けるよう小部屋を 2 室とした。すなわち D-04 室は比較的清浄な環境で作業ができるよう、クリーンフードを設置した。これに対し、D-05 室は、むしろ清浄環境で行うのが望ましくないような作業も CLEAR 施設内で行えるよう、一般の排気フードを設置し、マッフル炉、オートクレーブ等の試料処理装置の設置も可能な設備とした。

2.2.2.7 機械室エリア（E エリア）

CLEAR 施設の運転を支える機械室エリアを、管理区域、非管理区域ともに設けた。

非管理区域は、E-01-1 室（電気室）、E-01-2 室（自家発電機室）及び空調の給気側の設備機器を有する E-02 室（空調機械室）である。また一般実験室の廃液処理及び分析棟へのガス供給設備のため、ボンベ小屋を設置した。

管理区域からの排気と廃液の処理のために、E-03、E-06 室（排気機械室(1)(2)、後者は 2 階）と E-04 室（廃液貯槽室、地下）は管理区域とした。

E-05 室（機器搬入準備室）は、管理区域への大型物品の搬出入のため、清掃や汚染除去を行えるように設けた。

2.2.2.8 サプライプレナムチャンバ

CLEAR 施設の作業及び機能に係る主なエリアは 2.2.1 ~ 2.2.2.7 節に述べた範囲であるが、施設設備の維持管理上重要なスペースが他にもある。一つはクリーンルーム設備の一部と見なせるサプライプレナムチャンバである。この部分はクリーンルームの天井裏であり、クリーンルーム内から循環により戻ってきた空気を再び清浄化してクリーンルーム内に送り込むための FFU が設置されている（図 2.8 及び 3.1 節参照）。この部分も管理区域である。

サプライプレナムチャンバの平面図を図 2.13 に示す。入室はサービスエリアのキャットウォークから行い、入室に当たりクリーンルーム用無塵衣を着用するために、前室を設けた。クリーンルームと同様に、動線は清浄度レベルの低いエリアから奥に進むに連れ清浄度が高いレベルに入るものになっており、また原則として廊下から各室に入るようなものとした。

2.2.2.9 地下ピット

サービスエリア及び機器分析エリアの地下にはピットを設け、これも管理区域とした（化学処理エリアのリタンプレナムチャンバ下のピットは人の立ち入り不可能となっている）。地下ピットは、空調設備の機器、分析機器の周辺機器の一部、リタンドクト、各種配管類等が設けられたスペースで、メンテナンス上重要である。このエリアにはサービスエリアの点検口から立ち入る。常設の照明は設けていないが、可搬型の照明器具を設け、各所に設置したコンセントにより、照明器具が必要な場所で使用できるものとした。このエリア内で万一漏水があった場合に備え、逆梁に連通管を設けてサービスエリニアピット南端に集水し、湧水ポンプにより E-04 室（廃液貯槽室）の廃液貯槽へと導く設計とした。

3. 空調と空気清浄化の設備

CLEAR の分析棟の給排気の系統図を、各系統の風量と併せて図 3.1 に示す。このうちクリーンルームの空調及び空気清浄化設備の概念を端的に抽出したものを図 3.2 に示す。

分析棟の空調の熱源機器は、空冷式年間冷却型冷凍機（能力 87kW）2 基、空冷式冷凍機（能力 288kW）4 基、ヒートポンプ式温水機（能力 63kW）2 基を備える。

3.1 クリーンルーム空気清浄化の方式と設備

CLEAR のクリーンルームは清浄度クラス 100、1,000、10,000（それぞれ ISO クラス 5、6、7）を達成するように設計されている（図 2.6 参照）。ここでいう清浄度は、クリーンルームの施工完了状態（As-built 状態）におけるものである。作業者が立ち入っている場合については、作業が主に行われている作業面（クリーンフード、クリーンベンチ等）における清浄度が重要であって、作業者自身の近傍において粒子濃度が若干高くなることは容認される。

CLEAR におけるクリーンルームの空気清浄化の方式について述べる。クリーンルームの天井をシステム天井としてモジュール化し、その中にファンフィルタユニット（FFU）を設置した。FFU は給気ファンとその下流の HEPA フィルタを一体のユニットとしたもので（図 3.3 参照）、フィルタで濾過した清浄な空気を室内に送り込む。天井から吹き出した空気は床から吸い込まれ、リタンウォールを介して天井上のサプライプレナムチャンバへと戻り、再び FFU によって室内に送り込まれる。こうした循環を各室について独立に行い、室間の相互汚染のないようにした（ただし、C-05～C-08 室についてはサプライプレナムチャンバが合併されている。図 2.13 参照）。FFU は各室の清浄度及び作業内容から求められる循環風量及び吹き出し風速に応じて風量及び台数を決定し設置した（図 3.4 参照）^{*1}。FFU に内蔵された HEPA フィルタの捕集効率は、0.3μm 粒子について 99.99% 以上（保証値）である。

クラス 100 エリアでは高い清浄度に対応して、清浄空気の分布を広く取るため、床下のピット部分を戻り空気のためのリタンプレナムチャンバとし、床はグレーチング（格子）を用いたレイズドフロアとして、開口を大きく取った。FFU 及びグレーチングの配置は、室内の機器配置等を考慮して決定した。また各室で用いたグレーチングは、必要な循環風量に応じ、開口率を 25%、45%、60% と使い分けた。このエリアでの、空気循環の度合を示す実効換気回数は約 120 回/h 程度（73～139 回/h）である（詳細は付録 1 を参照）。

クラス 1,000 及びクラス 10,000 エリアでは、分析機器の重量に耐えるよう床をコンクリート床としており、またクラス 100 程の高清浄度が要求されないため、レイズドフロアとリタンプレナムチャンバの代わりに、床のところどころにグレーチングの吸込口を設け、ここから床下のリタンドクトによりリタンウォールへと接続して空気を循環する方式とした。クラス 1,000 エリアの実効換気回数は約 50 回/h 程度（19～100 回/h）、クラス 10,000 エリアでは約 15 回/h 程度（3～27

^{*1} 「一方向気流」（かつては「層流」と呼ばれた^{⑩)} は定義によると^{⑪)}、天井面の 80% 以上が高性能フィルタで覆われていることとされており、CLEAR のクリーンルームはこの基準を満たすものではないため、非一方向気流のクリーンルームと見なされる。

回/h) である（詳細は付録 1 を参照）。

クリーンルームまでの給気は、図 3.1 及び図 3.2 に示すように、給気フィルタユニット (SFU) のプレフィルタ、海塩粒子除去フィルタ及び外調機 (AC) のプレフィルタ、HEPA フィルタにより処理されている。すなわちクリーンルームへの給気には、AC 及び FFU の 2 段の HEPA フィルタが設けられている。また海塩粒子除去フィルタは、本施設の立地が太平洋に近いために設けたものである。なお一般実験室の給気系では、SFU はクリーンルームの系統と共通であるが、AC は HEPA フィルタを持たず、一般的な仕様となっている。

なお、クリーンルーム内も含め、これらのフィルタによる処理は、基本的には物理的な濾過であり、ガス状の化学物質等を取り除くことはできない。クリーンルーム内でこれらの物質が室内に漏れだした場合、室内を循環することになる。こうした影響を低減するため、試験的に A-07 室の FFU にのみ、化学吸着機能を付加した HEPA フィルタを導入した。

クリーンルーム内各室の循環風量と、設計値から想定される室内の清浄度の評価について、資料を付録 1 に収録した。

3.2 空調設備

3.2.1 室圧制御

クリーンルーム内の室間での相互汚染を避けるために差圧を設定した。差圧制御された各室の気圧の設定を図 3.5 に示す。原則として清浄度の高いエリアから低いエリアへと空気が流れるような差圧設定とし、同一エリア内でも部屋は面する廊下より圧を高くして汚染の侵入を防いだ。例外として B-07 室（標準試料調製室）は、核燃料物質の取扱量が施設内で最大となることから、ここから他の部屋を汚染しないよう、面する廊下より低い気圧とした。隣接するエリアの差圧はそれぞれ 10Pa (1mmAq) とし、サービスエリアは大気圧に対して -10Pa として、施設内での差圧の設計値は最大 40Pa (大気圧に対して +30 ~ -10Pa) にとどめた。これは、クリーンルームがパネル構造であることから、壁パネルに大きな負担をかけないようにするためにある。こうした微差圧制御は、クリーンルーム各室に設けた差圧ダンパによって行う方式とし、室圧監視のために各室に直読式のマノメータを設けた。ただし負圧のエリアについては、管理区域の負圧管理を担保するため、大気圧を参考に室圧を検知し、給気の電動ダンパにより室内圧力を制御する方式とした。

給排気系統全体としての風量・圧力制御は、インバータにより排気側を一定風量に制御し、給気側は電動スクロールダンパにより吐出圧を一定に制御する方式を採用した。

3.2.2 溫湿度制御

CLEAR のクリーンルーム及び一般実験室の室温は 23 ℃に設定した¹⁾。機器分析を行う B-01 ~ B-04 室及び D-01 ~ D-03 室では温湿度が厳密に一定であることが求められることから、室温は 23 ± 1 ℃、相対湿度は 50 ± 5 %とした。なお D-01-1 室の温湿度は隣接する D-01 室に追随する。

上記の温湿度制御を達成するには、各室で想定される熱負荷を厳密に評価して設計に反映させ

*1 これは国内の一般的クリーンルームの設定温度である²⁾。

る必要がある。分析機器からの熱負荷の値は、メーカーからの情報収集の他、現存する装置については実際の運転状態及び待機状態において電流値を測定することにより、より現実的な発熱量評価を行った。

温湿度の制御は、外調機において給気温度及び給気露点温度の制御を行い、各室の再熱コイル(リヒータ)で所定の温度まで加熱して各室の室温を調節する方式をとった。室内で発生した熱は排気によって除去されるが、クリーンルームで分析機器からの発熱の大きい室では各室内空気循環の途中にドライコイルを設けた(図3.1、図3.2参照)。ただし化学処理エリアについては、機器分析室ほど厳密な温湿度制御が要求されず、一方リタンプレナムチャンバ内にドライコイルを設置することは金属汚染を避ける観点で望ましくないことから、こうした措置は採らないこととした。なお一般実験室では、各室に冷房専用で手元でのON/OFFが可能な顯熱処理ファンコイルユニット(FCU)を設けた。

空調の熱源機器は、負荷及び冷凍機の能力に応じて季節によりモード切替運転を行う。冬期及び中間期は東海研第2ボイラから供給される蒸気を温水及び加湿器の熱源としている。夏期は第2ボイラからの夜間の蒸気供給が停止するため、リヒータの熱源として温水機を運転するものとした。また、冷凍機は負荷が容量の30%未満となると停止してしまうため、温湿度の精密制御が要求される機器分析室などの系統で、中間期にこうした事態が生じないよう、AC-3及びAC-4系統で温湿度の精密制御に最低必要な「ダミー負荷」を温水により与える方式を採った。

清浄度に配慮して、クリーンルーム及び一般実験室の給気の加湿は純水蒸気によって行う方式とした。純水は反応性が高いため、機器の腐食をもたらし、外調機及びFFUのHEPAフィルタの負担を増大するおそれがある。そのため冷却コイル及び再熱コイルユニットのフィンはアルミニウム製とし、アクリル樹脂でコーティングしたものを使用した。

3.2.3 排気処理

実験室からの排気の内、フード、ICP-MS、試料分解装置からの排気は酸などを含むため、充填材式の排気洗浄装置(スクラバー)を設けた。使用する酸は硝酸、塩酸、過塩素酸、フッ化水素酸の4種類を想定し、排気中の濃度は硝酸、塩酸は100ppm以下、後2種類の酸は10ppm程度と想定した(それぞれ個別のフードで200mL/h、20mL/hの割合で蒸発乾固した場合に相当する)。管理区域からの排気を処理するスクラバーはE-03室(排気機械室(1))に、一般実験室からのものは屋外に設置した。ただし過塩素酸とフッ化水素酸については、5.1.2節で詳述するように、A-03室のフードに限定して取り扱うこととし、サービスエリアに専用のスクラバーを設けた。

酸の使用が比較的少ない機器分析室のフード排気についても、なんらの処理もせずに施設外に放出するのは望ましくなく、また化学吸着フィルタ類の採用は使用後の放射性廃棄物処理の観点で難点があったため、スクラバーで処理する方式とした。

排気機械室及び屋外のスクラバーは、自動給水機能及び自動薬液注入によるpH調整機能を持つものとした。

管理区域からの排気はすべて、排気フィルタユニット(EFU)のHEPAフィルタで濾過してから施設外に放出する。通常のHEPAフィルタの材質はガラス繊維であるが、これはフッ化水素

酸に侵されるため、A-03 室のフードの下流に当たる AC-2 系統の EFU には、PTFE 複合膜を濾材とする HEPA フィルタを採用した。これらの HEPA フィルタの捕集効率はいずれも $0.15\mu\text{m}$ 粒子について 99.97%以上（保証値）である。

3.2.4 給排気の系統構成

CLEAR の分析棟の給排気の系統図を図 3.1 に示し、各系統の対応するエリアを平面図に表したものと図 3.6 に示す。管理区域は AC-1 ~ AC-4 系統、非管理区域の一般実験室は AC-5 系統である。

クリーンルームの給排気は AC-1 ~ AC-3 系統であり、原則的に、機器分析を主体とする部屋と、化学処理で酸を使用する部屋とは系統を分離した。従って機器分析エリアの中でも、化学操作（特に、酸による煮沸洗浄や酸廃液の蒸発乾固など）の想定される B-06 ~ B-08 室及び C-04 室は、機器分析室の系統（AC-3 系統）とは別系統とし、化学処理エリアの前処理室と合わせて「酸多用系」とした（AC-2 系統）。また清浄度クラス 10,000 の部屋の給気側と排気側には、同一系統に連なるより高清浄度の部屋の汚染を防止するため、逆流防止用電動ダンパを設けた。

クリーンルーム、一般実験室ともに、実験室の排気は基本的にフードから行う。各フードの排気風量は基本的に $1200\text{m}^3/\text{h}$ であるが、AC-3 系統については、系統全体の排気風量との関係でフード 1 台当たり $1000\text{m}^3/\text{h}$ とした。フードの排気風量の調整はフード側のダンパで行うものとし、施設側にはダンパを設けていない。実験室以外の室については直接排気をとるものとしたが、一部の部屋については他室へのトランスマッパーによる排気を採用した。各系統において、室排気と、フード及びスクラバーを経由した排気を合流させるに当たっては、室排気の系統に CAV（定風量ユニット）を設けて、フード及びスクラバーの圧力損失分と同等の抵抗を与えることにより、各排気ポイントにおける所定の排気風量を確保するものとした（図 3.1、図 3.2 参照）。

負圧管理となるサービスエリア及び管理区域の機械室の給排気は AC-4 系統である。この系統では、サービスエリア及び機器分析エリアの地下ピットの換気も担っている。また AC-4 系統の一部として、サービスエリアには、分析機器に付属する真空ポンプの排気用の系統を設け、オイルミストによる下流の HEPA フィルタへの影響を小さくするため、この系統には独立の EFU を設けた。なお、機械室の除熱は、管理区域の機械室では排気風量低減のため空調された空気を導入して行っており、一方非管理区域の空調機械室では、外気による換気を行っている。

ダクトの材質は清浄度及び耐食性の観点から重要である。給気ダクトはクリーンルーム、一般実験室ともにポリ塩化ビニル（塩ビ）ライニング鋼板ダクトとし、クリーンルームのサプライプレナムチャンバ内は塩ビダクトとした。フード及び実験装置からの排気ダクトは耐酸性を考慮して塩ビダクトとし、スクラバー及び EFU の下流も念のため塩ビダクトを採用した。クリーンルームの室排気ダクト及びリタンダクトは塩ビライニング鋼板ダクトとしたが、酸を多用する B-06 ~ B-08 室、C-04 室のリタンダクトは塩ビダクトとした。なお塩ビの耐薬品性より、有機溶剤の使用には注意を要する。

排気ファンも耐蝕ファンを採用し、管理区域内のものについては粉塵発生を低減するためモータ一直結型とした。

なお、本施設では特に機器分析において振動をきらうことから、熱源機器、ポンプ、ファンの

設置に当たっては、絶縁効率 90%以上の仕様の防振架台を用いた。また、クリーンルームの給排気ダクトがプレナム天井を貫通する部分については、地震時における天井パネル及びダクトの健全性を確保するため、たわみ継ぎ手を使用した。

3.2.5 実験装置との接続

前節までに示した給排気設備の中で、施設設備と実験装置とが取り合う部分は、排気フード（クリーンフード及び一般フード）、ICP-MS、試料分解装置及び、管理区域内に設置した真空ポンプの排気である。

クリーンルームを始めとする空調設備の風量調整に重要なフード排気量の調整は、フード側に排気ダンバを設けて行った。

ICP-MS の排気量は、様々な機種に対応できるよう、1台分当たり $1500\text{m}^3/\text{h}$ を想定し、B-01 室及び D-03 室の空調設備はこの排気量を確保するものとして設計した。実際に設置した機種の排気量は $450 \sim 820\text{m}^3/\text{h}$ であったため、装置接続時にこれらの室に必要な排気量を確保するため、塩ビ製の排気ボックスを介した接続とした。このボックスは装置の排気ダクト接続口と、室排気ダクトへの接続口の他に、室空気を吸い込む制気口（VHS）を持つもので、装置の排気量と $1500\text{m}^3/\text{h}$ との差の風量をこの制気口から吸引するように調整した。

試料分解装置用の排気は、1箇所につき $300\text{m}^3/\text{h}$ を確保した。これも装置の機種によって必要な排気量は異なることから、使用の際には装置排気量との差分の、室に必要な排気量をとれるような形とする必要がある。

サービスエリアに設置する分析機器の真空ポンプのための排気は、合計で $420\text{m}^3/\text{h}$ を確保し、機器が設置される数カ所に排気ダクトを用意した。真空ポンプは各所において、バルブ付のタケノコ形状のノズルを通して直列に接続される。

3.3 運転制御

3.3.1 中央監視装置

CLEAR の機械設備に関する情報は、研究棟の施設監視室に設置した中央監視装置にて集約される。中央監視装置は、運転状態等の表示機能、警報等の監視機能、空調・給排気設備等の操作機能及び制御機能、記録及びデータ保存機能、マネージメント機能を持ち、本稿の各節で述べる機械設備や個別機器の運転制御や一括警報の管理等を行うものとした。中央監視装置は、停電時にもシステムの必要部分が機能するよう、無停電電源装置（UPS）を備えており、UPS による停電補償時間は 10 分間である。

3.3.2 基本的運転制御

3.3.2.1 給排気設備

CLEAR の給排気設備は、クリーンルーム、一般実験室とも、勤務時間外等にインバータによる出力制御や部分的な ON-OFF 運転は行わず、通常連続 100%運転である。各給排気系統の発停操作は、運転員が施設監視室の中央監視装置から行う。

運転制御の基本的な考え方

- ・AC-4 系統（負圧系）が運転している状態でないと、他の管理区域の系統（AC-1～AC-3 系統）は運転できない。
- ・各系統で、給排気ファン及びクリーンフードファンは連動運転。
- ・自動火災報知設備（自火報）発報時は、当該系統の給排気系を停止する。
- ・運転中に、クリーンルーム各系統（AC-1～AC-3）の代表室のいずれかとサービスエリアとの間に異常な差圧（300Pa を越える過負圧または過正圧）が発生した場合には、AC-4 系統を緊急停止し、もってクリーンルームのすべての系統を停止する。各系統の代表室は AC-1 系統は A-11 室、AC-2 系統は B-06 室、AC-3 系統は B-01 室とした。

室圧異常対策は、クリーンルームの壁パネルの耐えられる差圧が最大 500Pa であることから、クリーンルームを保護するための対策として採用した。代表室は、給排気風量が大きく差圧の変化を検知しやすいことと、差圧検知器の金属が部屋に必要な清浄度に重大な影響を及ぼさないこと、の 2 点から選定し、サプライプレナムチャンバとサービスエリアとの差圧を検知するものとした。

またこれに関連し、所定の自動制御スキームに依らず手動操作を行って、結果として不適切な運転が行われるのを防ぐため、動力盤の手動スイッチ回路に直列に操作確認用スイッチを設けて、安易には手動運転を行えなくしたほか、試験等のために手動運転を行っても最長 1 分間しか継続しないようタイマーを設けた。

AC-5 系統（一般実験室）の運転制御は、管理区域の系統とは全く独立したもので、他の系統との連動関係を持たないが、系統内のインターロック制御については他の系統と共通の考え方を採用した。

なお、排気ファンのインバータ制御ユニットは予備機を設けておらず、故障時はシステムが成立しなくなるため、当該系統は停止することになる。

AC-1～AC-5 系統の起動・停止時及び異常時の、系統内・系統間のインターロック制御の考え方の詳細は付録 2 を、クリーンフード及び A-03 室のクリーンフード用スクラバーの運転制御の詳細については 5.1 節を参照されたい。

3.3.2.2 クリーンルーム FFU

クリーンルームの FFU も、インバータによる出力制御や部分的な ON-OFF 運転は行わず通常連続 100% 運転である。給排気設備は上記のように中央監視により自動制御されるが、FFU は次節に述べる場合を除き、サービスエリアの FFU 制御盤から、部屋ごとに運転員の手動による ON-OFF を行う方式とした。ただし、同室の FFU でも、商用電源系と非常用電源系（EG 系）とは別に制御するものとした。自火報発報時には、当該系統の FFU は停止するものとし、復帰は運転員が手動で行うものとした。FFU の個別ユニット故障時には、故障ユニットに電源が送られ続けると火災等の原因となるため、当該ユニットに連なる室内の複数の FFU の電源供給を遮断する方式を採用した。AC-1 及び AC-2 系統で、FFU に商用電源系と EG 系とが設けられた部屋では、それぞれの電源系統ごとの電源遮断となり、また EG 系のない AC-3 系統の FFU では、同時に電源遮断となるユニットは千鳥状の配置で 2 系統に分けた。

3.3.3 非常用電源系（EG 系）による運転

商用電源喪失時に、クリーンルームの清浄度を維持し、また酸や放射性物質の室内への漏洩を防ぐため、クリーンルーム設備の一部を非常用電源系（EG 系）により運転するものとした。なおこの設備は、核燃料物質使用施設としての安全担保を目的としたものではない。

EG 系によって運転される範囲を図 3.7 に示す。高清浄度が要求され、酸が多用される AC-1 及び AC-2 系統のエリアの給排気及びクリーンフードのファン、簡易型クリーンベンチの FFU に運転範囲を限定した（一部これ以外にもエアバランス維持のため運転する FFU がある。図 3.4 参照）。またこの場合にも負圧管理を担保するため、AC-4 系統の給排気も EG 系により運転するものとした。

EG 系は数秒間を超える商用電源喪失から 40 秒以内に電圧確立し、これを受けて上記の設備機器が自動起動により運転開始する。自動起動時の起動順は AC-4 系統の排気ファンが最初に起動し、AC-4 系統が完全に起動した後、AC-1 系統から順に起動していき、最後に AC-2 系統のクリーンフードファンが起動して、EG 系による空調系統の起動が完了するまでに数分を要する。なお FFU も、EG 系による運転時に限って自動で起動する。非常用発電機は 1 回の給油で連続 8 時間は運転が可能である。

商用電源復帰時には、確認のため自動で切り替わることは避け、運転員が手動で一旦 EG 系による空調の運転を停止してから新たに通常の起動を行う方式とした。

なお、CLEAR の空調設備には無停電電源装置を装備していないため、給排気系統は商用電源系の瞬時電圧低下時に停止してしまい、運転員が手動により起動する必要がある。

なお一般実験室には EG 系によって運転される設備はない。

4. クリーンルームの施工

4.1 クリーンルームの構造

CLEAR のクリーンルーム部分の詳細な断面図を図 4.1 に示す。図 4.2 は化学処理エリアの仕様について模式的に示したものである。

クリーンルームは前述のように分析棟建家の中にパーティションにより設置した。具体的には、外壁を構成する H (High) パーティション、リタンウォールの内側を構成する L (Low) パーティション、クリーンルームの天井を構成するシステム天井、及びサプライプレナムチャンバの天井となるプレナム天井から構成されるパネル構造とし (図 2.8 参照)、プレナム天井及びシステム天井は躯体の天井から吊りボルトにより支持するものとした。クリーンルームの天井高さは 3m、サプライプレナムチャンバの天井高さは 2m とした。

化学処理エリアのリタンプレナムチャンバは、躯体の当該部分をプール状に掘り下げたものである (深さ 1.5m)。この中に支柱を設け、根太を配した上に、レイズドフロア (グレーチング及びプランクパネル) を乗せて、機器分析エリアやサービスエリアと同じ床レベルとした。レイズドフロアは、リタンプレナムチャンバ内のメンテナンスをクリーンルーム室内から行うために、600mm 角の単位で取り外し可能とした。レイズドフロアの耐荷重は 300kg/m^2 である。

また各室独立に空気を循環させるため、H パーティションはリタンプレナムチャンバ内まで仕切るものとした。リタンウォールの中途に窓を配した部分では、H パーティションと L パーティションの同じ位置に窓を設け、パネルで筒のように内外の窓をつないだ形とした。

機器分析エリアは、床は躯体の一部であるコンクリートのスラブで、ここに H パーティションと L パーティションを立てる形とした。床の耐荷重は 1t/m^2 である。床に部分的に 600mm 角の吸込口を設け、床下でボックスで受けてリタンダクトと接続するとともに、吸込口にはグレーチングを配して、床上の歩行等に支障のないようにした。このグレーチングからの小物品の落下に備え、グレーチングの下に落下物を受けるネットを設けた。また液体がグレーチングから吸込口内に漏洩した場合に備え、各リタンダクトにはドレンバルブを設けた。

システム天井は $1200\text{mm} \times 600\text{mm}$ 単位のプランクパネルまたは FFU を、吊りボルトにより支持されたシステム天井フレームに乗せた形で構成されたものとした。将来のメンテナンス等を配慮し、天井枠との間はシールせず、FFU は自重で、プランクパネルは留め金具で固定する形とした。プレナム天井もシステム天井と同様のパネルで構成した。両天井の耐荷重は 120kg/m^2 である。

クリーンルーム各室のドアは、気密性が重要であるが、四方枠のエアタイトドアでは靴ずり部分が通行の妨げとなるため、三方枠セミエアタイトドアとした。ドアの下辺にはズレゴムを設け、靴ずり部分にはへの字板下枠を設けて、ドアを閉めた際の気密を取れるようにした (図 4.3 参照)。また化学実験室の安全性の観点から、ドアは外開きを原則とした。

4.2 クリーンルーム各部分の使用材料と施工仕様

CLEAR のクリーンルームは極微量分析を目的とする化学実験室であることから、酸で冒され

ないこと、金属微粒子を発生して分析における汚染源にならないこと、を至上命題に、使用材料に対する特別な配慮を必要とした。

使用する材料の優先順位は原則として、樹脂>アルミニウム>ステンレス鋼 (SUS) >その他、とした。樹脂としては、ポリ塩化ビニル（塩ビ）を主に使用し、一部アクリルやその他の樹脂も用いた（板、配管、ボルト類、ビス類等）。金属の使用は、核燃料物質使用施設として、建材に不燃材料の使用が要求されたことや、機械的強度上の必要性等によるもので、原則としてエポキシ等の樹脂塗装を施して金属表面がクリーンルーム内空気に露出しないようにした。ステンレス鋼は不純物として重元素を含むおそれがあるため、アルミニウムでは必要な機械的強度が確保できない場合に限定して使用し、可能な限り SUS316 を用いた。可動部分は塗装が不可能であるが、こうした部分も影響を最低限にとどめるよう構造・材料を吟味した。接合部や貫通部等の隙間は、気密性の維持・外部空気の侵入防止のため、すべてシリコンコーティングでシールした。塗料やシール材は、着色されたものは顔料として金属元素を含むので、可能な限り無着色（クリア）のものを用いた。電気設備についても、クリーンルーム内の施工については上記と同様の原則に従ったほか、電気設備機器の金属部分を露出させないため、樹脂製のカバーやスリーブを使用した。なお木材は、金属汚染を避ける観点では望ましい面もあり、塗装等の仕上げにより発塵を抑えた上で什器等に使用した。

主な部分の材質は以下の通りである（図 4.1、図 4.2 参照）。ただし以下は酸を多用する化学処理エリア及び B-06 ~ B-08、C-04 室に関するものであり、分析機器が設置された部屋については、原則として酸の使用がなくまた分析機器自体が金属であるため、材料に関する制約は緩やかとした。なお、化学処理エリア部分のクリーンルーム工事の詳細断面図を付録 7 に収録した。

a. 車体コンクリート表面

リタンプレナムチャンバの床は長尺塩ビシート貼り、立ち上がり壁はポリフッ化ビニルフィルム貼りとした。機器分析エリアの床も長尺塩ビシート貼りとした。

b. 壁・天井パネル

H 及び L パーティション、プレナム天井、システム天井は、芯材に表面材として金属シートを貼り付けたパネルである。表面材はアルミニウムシートにエポキシ樹脂焼き付け塗装を施したものとしたが、サービスエリアに面する側については、鋼板シートにポリエチル樹脂塗装とした。

c. レイズドフロア

アルミニウムの鋳物のパネルとし、エポキシ樹脂焼き付け塗装を行った。機器分析エリアの床の吸込口のグレーティングも同じものを用いた。

d. 型材等

レイズドフロアの支柱、根太、システム天井枠、窓枠や、その他型材を用いた部位は、原則としてアルミニウムの型材を用い、表面に陽極酸化処理を行った上にアクリル系のクリア塗料を電着塗装した。クリーンルーム内でかなり多用されている部位である。

への字板下枠等の強度が要求される部位には SUS316 を用いた。機器分析エリアの床の吸込口にも、グレーティングの受けとして SUS316 の枠を取り付けた。またクリーンルーム天井

の吊りボルトも SUS316 とした。化学処理エリア及び B-06 ~ B-08、C-04 室におけるこれらの SUS 使用部位には、クリアーポリイミド樹脂塗装を行った。なお、レイズドフロアの支柱をリタンプレナムチャンバ床に固定した SUS 製のアンカーボルトには塩ビキャップを取り付けて露出を防いだ。

e. ドア

ハンドルはクリアーポリイミド樹脂塗装を行い、化学処理エリア内についてはグリップ部分に熱収縮チューブを施した。蝶番は SUS304 に樹脂塗装したもので、樹脂スペーサーを用いた。

f. エアシャワー、パスボックス

本体及び部品は SUS にエポキシ樹脂塗装したもの及びアルミニウムである。ドアのハンドルはクリーンルームのドアと同様の処理を行った。

g. FFU

本体ケースはアルミニウムにクリアーポリイミド樹脂焼き付け塗装を行った。ファンやユニット内構造物も原則としてアルミニウムまたは樹脂製のものを用いたが、モータやその他の一部にやむを得ず SUS や炭素鋼を用いた。これらの金属部分は、回転機器という制約の中で、可能な限りエポキシ樹脂やアクリル樹脂で塗装した。

FFU の HEPA フィルタの枠はアルミニウム、ガスケットはクロロプロレンとした。

h. 差圧ダンパ

外板は亜鉛メッキ鋼板製、羽根はアルミニウム製で、いずれもエポキシ樹脂塗装とした。シャフト部分は塗装ができない、SUS 製のものを用いた。なお、耐酸性の観点から、一部にセラミック製のシャフトのものを試験導入したが、CLEAR のクリーンルームでの動作条件ではペアリングの摩耗が著しく、摩耗粉により動作に不具合を生じたため、すべて SUS のものとした。

i. 差圧計

室差圧を監視するためのものであるが、通常の計器を用いたものでは、ドアの開閉により室圧の差が変化するたびに金属機器部分を通過した空気が吐出されるおそれがあることから、金属機器を使用しない傾斜型のマノメータを採用した。

j. 照明器具

クリーンルーム内の照明器具は、クリーンルーム仕様の、アクリル製カバー付の蛍光灯を採用し、システム天井枠に取り付けた。

k. 煙感知器

イオン化式のものは汚染源となるため、光電式のものを採用した。またシステム天井に取り付けた煙感知器は、本体がサプライプレナムチャンバ側に出るので、アクリルカバーを設けて露出を避けた。

l. スピーカ

クリーンルーム内に設置したスピーカは、本体が密閉ケースに収容されたクリーンルーム対応スピーカを用いた上に、配線導入部の処置に配慮し VE ボックスを上乗せした。さらにクラス 100 エリアに設置したものでは特にパンチングネットをアルミニウム製のクリアーポリイミド樹脂塗装した。

装品とした。

m. ボルト、ビス類

クリーンルーム内では可能な限り樹脂製のボルト、ビスを用いたが、SUS 等の金属ビス類が必要とされた部位では、原則として取り付け後にクリア塗装を行うか、クリアーコーキング処理により埋めた。

n. 配線類

クリーンルームへの電源供給は可能な限りコンセントによるものとした（一部の分析機器を除く）。クリーンルーム内のコンセントや弱電設備の配線はすべてパネル内に埋め込んだ塩ビ管を通し、各種アウトレットもパネル内に埋め込んだ塩ビ製のボックスを利用した。コンセントを使用していない場合は、差込口の金属の露出を避けるため、樹脂製のキャップにより塞ぐものとした。

o. 配管類

クリーンルーム内及びリタンプレナムチャンバ内の配管類はすべて塩ビ管とし、バルブは塩ビ製のボールバルブとした。これに該当するものは純水配管、非常用シャワー、放射線管理設備のルームダストサンプリング配管などである。

p. 塩ビ鋼板ダクト等の施工

給気ダクトの塩ビ鋼板部分は、内圧を考慮して、接合部をコーキングによりシールとともに、長手方向の継ぎ目も内面からシールした。室排気ダクト及びリタンダクトは、接合部のシールと共に、長手方向の継ぎ目を内外面ともにシールした（リタンダクト内は圧力損失により負圧となるため）。またこうした継ぎ目等で使用されている金属リベット類でダクト内面に出ているものは、コーキングにより埋める処置を行った。機器分析エリアの床の吸込口とリタンダクトとの接続に用いたボックスはリタンダクトと同じ材質で、落下物受けネットはナイロンメッシュであり、吸込口のスラブ断面は防塵エポキシ塗装とした。また給気ダクト、排気ダクト及びリタンダクトのフランジ部、並びに床の吸込口のボックス受け部のガスケットには、硝酸に対する耐性を考慮して発泡軟質塩ビのものを採用した。

なお、こうしたクリーンルームの施工に当たって行った施工管理について付録3に収録した。また付録5に、運用開始段階にクリーンルーム内に導入した什器等の仕様について収録した。

4.3 クリーンルーム内使用材料の評価

4.3.1 材料評価の位置づけと内容

CLEAR で行う極微量分析の品質保証／品質管理の観点から、建材に由来する実験室のバックグラウンドを把握することは、後に本施設で得られた分析データを評価する上で有益な情報となる。さらに、施設の建設段階から適した建材を選択して用いることができれば望ましい。以上のような目的で、建設に先立ち、化学処理エリアの使用建材またはその候補を溶出試験により評価した。

試験内容は以下の通りである。溶出液は超純水（比抵抗値 $18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）及び高純度硝酸水溶液 (0.01mol/L) の2種類とし、溶出液量 200g、接液面積 254cm^2 にて（ただしアルミニウム型

材用クリア一塗料に限り溶出液量 250g、接液面積 510cm²)、室温で 24 時間溶出を行った。各試験片は試験前に超純水で 1 時間流水洗浄し、切断面に溶出液が接触しない形で表面のみからの溶出を行った。

評価対象とする元素は、CLEAR のクリーンルームにおける分析において関心の高い核物質や重金属元素、並びに一般にクリーンルーム等の建材評価に用いられる元素として、アルミニウム、カルシウム、鉄、亜鉛、鉛、トリウム、ウランの 7 元素を選択した。得られた溶出試験液中のこれらの元素について、ICP-MS により定量分析(溶出液中定量下限 0.1ppb)を行い、また質量数 230 ~ 242 の領域についてシグナル強度による評価を行った。

なお、この試験は株住化分析センターに委託して行ったものであり、溶出及び溶液調製操作はクリーンルーム(クラス 100)内設置のクリーンフード(クラス 10)内で行った。

4.3.2 評価部位

材料評価を行った部位は、図 4.2 中で太線で示した箇所である。

a.長尺塩ビシート

2 社についてそれぞれ 2 種類、計 4 種類について評価し、相対的に最も金属の溶出が少ないと見られる 1 種類を選定して、床下の施工に用いることとした。

b.ポリフッ化ビニルフィルム

1 社の 2 種類について評価し、相対的に金属の溶出の少ないと見られる方を選定して、床下立上りの施工に用いることとした。

c.塗料

使用する 3 種類の塗料について評価した。これらはいずれも使用建材(アルミニウム)に評価対象塗料を塗布したものを試験片とした。

1)壁・天井パネル用エポキシ樹脂塗料

2)レイズドフロア用エポキシ樹脂塗料

3)アルミニウム型材用クリア一塗料

d.硬質ポリ塩化ビニル板

実験用設備・什器に使用した以下の 3 種類について評価した。

1)汎用クリーンフード及び循環型クリーンベンチ用

2)過塩素酸用クリーンフード及びクリーン流し台用

3)簡易型クリーンベンチ天板用

4.3.3 評価結果

分析データを表 4.1 に示す。希硝酸への溶出は、現実に建材が使用される状態に比べるとかなり厳しい条件であるが、この場合で、Al、Ca、Fe、Zn、Pb は一般に約 1 ~ 100µg/m² が溶出した。ただし一部に、特定元素について数 mg/m² と、溶出の大きいものが見受けられた(長尺塩ビシート及びクリーンベンチ天板用塩ビ板の Ca、レイズドフロア用塗料の Zn、汎用クリーンフード用塩ビ板の Pb など)。アルミニウム型材用のクリア一塗料では、塗膜の機械的強度のためか、母材の Al の溶出が 5mg/m² 程度見られたが、一般には金属表面に塗装を行うことにより、樹脂

材料と同オーダーの範囲に金属溶出を抑制することができたと見られる。

汎用クリーンフード用の塩ビ板は Pb が添加剤として用いられていたと考えられ、溶出量は希硝酸で 8mg/m^2 、超純水で 5mg/m^2 であり、蛍光 X 線分析でも Pb の顕著なピークが検出された。一方過塩素酸用フード及びクリーン流し台用の塩ビ板は金属低溶出仕様のものであり、他の評価材料に比べても多くの元素について溶出性が低いことが確かめられた。そこで、この材料評価後に追加発注したクリーンフード（A-07 室、B-08 室及び D-03 室）や、その他の什器等は、評価結果を踏まえてこの低溶出仕様の塩ビを指定して製作した。

CLEAR での分析のバックグラウンドとして最重要である U については、 $\text{m/z}=238$ におけるシグナル値を参考に概算すると、希硝酸の溶出でいずれの試料からも数 ng/m^2 程度と見られ、超純水の場合はいずれの試料からも検出されなかった ($<0.4\text{ng/m}^2$ 程度と概算される)。Th ($\text{m/z}=232$) の溶出も大部分の試料で見られなかった。

5. 実験室の設備

5.1 クリーンフード（クリーンドラフト）

5.1.1 汎用クリーンフード

5.1.1.1 概要

クリーンフードは、CLEAR のクリーンルーム及び一般実験室において主に化学操作を行う場として設置した設備である。この装置の特徴を端的に表現すると「排気のあるクリーン作業面」となる。すなわち、高清浄度の作業環境を提供する一方で、酸や核燃料物質の取り扱いにおける作業者の安全を確保することを目的に、外部空気の作業面内への混入と、作業面内空気の外部への漏洩との両方を防ぐ機能を持つものとして設計・製作した。特に作業面内空気が外部へ漏洩しないことは、核燃料物質の使用許可を受ける上での必要条件でもある。作業面における清浄度はクラス 10 (ISO クラス 4) を達成するものとした。

装置の気流概念を図 5.1 に示す。作業面への給気は、内蔵の給気ファンにより総排気量の約 75% の室内空気を吸引し、プレフィルタ、メインフィルタ (ULPA フィルタ) 及び整流板を経て垂直層流気流で作業面上へと吹き出す。排気は施設の給排気系の排気ファンにより行う。装置の総排気量の約 75% は作業面内空気をパンチング作業面から、総排気量の約 25% は室内空気を前面スリットから、それぞれ吸引し、ワنسスルーにて排気する。前面スリットは吸い込み風速が大きいため、外部空気の混入と作業面内空気の漏洩を防ぐ上で効果的である。また作業面前面 (100mm 幅) には、下方気流の風速が大きいエアカーテン部を設けた。総排気風量は、AC-3 系統に設置したものが 1 台当たり $1,000\text{m}^3/\text{h}$ 、その他のものは $1,200\text{m}^3/\text{h}$ である。

5.1.1.2 製作仕様

使用材料等の選定はクリーンルーム施工と同様の原則に則った。すなわち内外装等主要構成材料は硬質塩ビとし、部品は可能な限り樹脂製とした。やむを得ず金属を使用した部品で作業面内及びクリーンルームに金属が露出する部分は、エポキシ樹脂塗装またはクリア一塗装を施した。

プレフィルタ及び ULPA フィルタの枠は塩ビ製の特注品とした。ULPA フィルタの捕集効率は $0.12 \sim 0.17\mu\text{m}$ 粒子に対して 99.999% 以上 (保証値) である。ULPA フィルターの装着及び交換は本体上部のメンテナンス口から行う。同フィルタは固定具及び自重により装着される。ガスケットはクロロプレン (一部追加発注分は発泡軟質塩ビ) 製である。

給気ファンは耐腐食性のあるケミカルファンを使用し、モーターは防食型 (JIS 規格の防食 2 種) とした。ファンはモーター直結型とした。給気ファンは施設の給排気と連動するため、装置本体には ON/OFF スイッチを設けなかった。ファンの本体底板への固定部には防振ゴムを、給気ダクトへの接続部にはたわみ継ぎ手を用いて、振動が本体に伝わらないような措置を取った。

エアカーテンは、ULPA フィルタ下部のエアカーテン以外の部分にパンチング板を取り付けて、差圧を発生させることにより形成する方式とした。この差圧板の前方先端からはガイド板を垂直におろし、エアカーテンの形成を助けるものとした。

給気風量の調整のため、ファン吸い込み口にダンパを設けた。前面スリットは、吸い込み排気

風量が調節可能なスライド式（固定ツマミ付）とした。作業面からの排気量は作業面パンチング板下奥のスライド式ダンパにより調節可能とした。総排気風量は本装置の排気ダンパにより調節するものとした。

本体の清掃の際の利便性のため、作業面パンチング板及び前面スリットは着脱可能とし、作業面下部に排水口を設けた。給排水設備とは接続せず、廃水は本体外のバルブを通しタンク等を用いて回収するものとした。

照明器具は、1,000lx の照度が得られるものとした。ソケット部の金属部品を露出させないため、Oリング付の樹脂製キャップを使用したほか、蛍光灯自身もポリエステルフィルム貼りのものを使用した。照明スイッチは樹脂製カバー付とした。

コンセントは、ホットプレート等の使用機器のスイッチ ON/OFF による作業面内での火花発生等を防ぐため、コンセント自体に電源 ON/OFF スイッチをつけ、スイッチは樹脂製カバー付とした。またコンセントの通電状態をスイッチにおいてランプ表示するものとした。なお、コンセントを使用しない際は、クリーンルーム内同様に、差込部の金属露出を避けるため、樹脂製のキャップを装着する。

ファン、照明、コンセント等の配線は必要に応じパイプ内を通し貫通部は溶接するなどして、作業面内及び排気ダクト内の空気と接触しないよう配慮した。

フィルター用差圧計は、金属部品の使用を避け単純な構造とするため、クリーンルーム内と同様の直読式傾斜型マノメータを採用した。差圧計には塗装製のカバーを取り付けた。

前面シャッターの開閉用のバランスウェイトは、SS の丸棒にエポキシ樹脂塗装を施したものとし、ワイヤーも金属製のものにビニール被覆を施したものを使用した。

本体の据付に当たり床への固定は、アジャスターを挟んで抑える形の固定具を用いた。また化学処理エリア内では据付後、金属部分を減らすためキャスターを取り外した。

5.1.1.3 検査

製作時に工場立会検査を行って仕様を満たすことを確認し、CLEAR への据付時に現地立会検査を行って設置された条件で性能を發揮することを確認した。工場立会検査では、外観、員数、寸法、電気部品の絶縁抵抗、清浄度、照度、メインフィルタ取り付け部の漏洩、風量、気流方向の各項目について、30%の抜き取り検査を行った。CLEAR 現地では全数検査とし、クリーンルームの運転開始前に給気風量の調整及びフィルタ漏洩試験を行い、クリーンルーム運転開始後に清浄度、風量（前面吸い込み）、気流方向の検査を行った。

清浄度クラス 10 の検定には連続サンプリング法を用いた粒子計数を行った¹⁰⁾。気流方向試験は作業面内外の空気の分離を確認する最重要項目で、ドライアイスまたは純水蒸気を用いて行った。なお比重の点で純水蒸気発生器を用いた方が望ましい。

なおこのクリーンフードの、CLEAR への設置後に取った追加措置について、付録 4 に収録した。

5.1.1.4 運転制御

クリーンルーム内のクリーンフードの給気ファンはクリーンフード制御盤により、給排気系統

ごとに一括して運転制御される。一般実験室では個別にフードが設置された部屋の実験盤にて制御される。いずれも当該系統の排気ファンと連動して運転・停止する。

個々のフードのファンが故障した場合は、故障信号を施設の中央監視装置及び副警報盤に一括警報として発報し、クリーンフード制御盤にて当該フードを特定する。給排気系統がこのことによって停止することはない。この場合、当該フードは排気のみが行われる状態となるので一般的なドラフトチャンバーと見なせる。このとき、半開面速 0.5m/s 以上は確保できる。

給排気系の起動時、排気ファンが起動してからフードの箇所にて定常の排気風量となるまでには時間を要し、一方クリーンフードのファンは小型で直ちに所定の給気風量となるため、同時に起動するとエアバランスが崩れることになる。そこで排気ファンとクリーンフードファンとの連動には系統ごとに遅延タイマーを設けた。遅延タイマーの設定時間は、系統内の数カ所で起動時の気流方向試験を行って決定し、AC-1 系統では 2.7 分、AC-2 系統では 2 分、AC-3 系統では 4 分、AC-5 系統では 0.5 ~ 0.7 秒とした。

5.1.2 過塩素酸用クリーンフード (A-03)

5.1.2.1 製作仕様

酸を多用した湿式分解を行う A-03 室には、特に過塩素酸及びフッ化水素酸の使用に対応した仕様のクリーンフードを設置した。目的、概念及び性能は前節の汎用クリーンフードと同じであるが、特に過塩素酸はミスト状となりダクト内等に蓄積して爆発の危険をもたらすことから、個別に付属スクラバーを設けて酸排気を直ちに洗浄するなどの対策を講じた点に特徴がある。

このクリーンフードの本体は図 5.2 に示すようなものである。各部仕様もほぼ汎用クリーンフードと同様であるが、特徴的な部分は以下の通りである。

ULPA フィルタの濾材は、耐フッ酸性の観点から、通常のグラスファイバーでなく、PTFE 複合膜のものとした。このフィルタの捕集効率は 0.1 μm 粒子について 99.99% 以上（保証値）である。

作業面内の過塩素酸ミストの清掃のため、給排水設備を設け、超純水を供給した。給水栓はクリーン流し台と同様の超純水対応のものを用いた。また作業面内で洗気瓶を使用することもできるよう、作業面と地袋とを結ぶバルブ付パイプ（給水栓形態のものを利用）を設け、作業面外に設置したケミカルポンプとの接続を可能とした。

給気ファンの配置が汎用クリーンフードと異なることから、ULPA フィルタは作業面内から上向きに装着する形となっている。また給気風量の調整はプレフィルタ部に設けたスライドダンパにより行う。

照明器具を本体側面のカバー内に設けたほか、付属スクラバー異常表示ランプを設けた。

サービスエリアに設置した付属スクラバーは、ミスト状となり化学洗浄が困難な過塩素酸の使用に対応するため、ベンチュリースクラバーと充填材式スクラバーの機能を併せ持つものとし、クリーンフード本体からの酸排気をベンチュリー効果による物理的処理及び水酸化ナトリウム溶液による化学処理により洗浄するものとした。自動給水式であり、薬液槽水位異常等の警報ランプ、ブザーを持つ。

さらに、クリーンフードと付属スクラバーとを接続するダクトの内部を清掃するため、サプラ

イプレナムチャンバ内にダクト点検口を設けた。

過塩素酸用クリーンフードについても、汎用クリーンフードと同じ項目について工場立会検査及び A-03 室据付後の検査を行った。また設置後の追加措置について付録 4 に収録した。

5.1.2.2 運転制御

過塩素酸用クリーンフードも、汎用クリーンフード同様、排気ファン（AC-2 系統）連動で運転・停止する。付属スクラバーは、AC-2 系統の給気ファンに連動して運転・停止する。

付属スクラバーの異常時は、対応するフード本体及び施設の中央監視装置に一括異常信号を出す。このときフード本体にはランプ表示を行う。フードの給気ファン及び給排気系の停止はしない。過塩素酸用フードは機械室のスクラバーに接続されていないため、付属スクラバーの停止時に作業中のフードに関しては、運用上の措置として、酸を発生させる作業を中止する必要がある。

5.2 クリーンベンチ

5.2.1 簡易型クリーンベンチ

クリーンベンチは、高い清浄度を必要とする作業のうち、酸や核燃料物質を使用せず排気を必要としない作業を行うための作業台である。クリーンルームのクラス 100 及びクラス 1,000 エリアには、単純な構造の簡易型クリーンベンチを採用した。

簡易型クリーンベンチの概念を図 5.3 に示す。クリーンルームの FFU の直下に、作業台の長辺がクリーンルームの壁に接するように設置し、当該 FFU を囲むアイリッド（たれ壁）により清浄空気を作業面上に導いたものである。この空気が拡散せずに直ちに床下に吸い込まれるよう、化学処理エリア、機器分析エリアとともにベンチの直近の床に吸込口を設けた。作業面上の清浄度はクラス 10 であり、各作業面について 5 点ずつ、連続サンプリング法による粒子計数を行って清浄度を確認した。

簡易型クリーンベンチ用作業台の仕様は以下の通りとした。片面式作業台とし、間口及び奥行きを FFU のサイズに合わせたものとしたほか、塵埃の滞留等を防ぐため、棚板、収納等のない設計とした。壁に接する辺には、気流を助けるための縁材を設けた。本体（脚及び補強）は木製で内外面共にポリウレタン樹脂塗装を施した。天板、縁材、アジャスターは塩ビ製とした。金属部品の使用部はコーティングで処理し、木材の継ぎ合わせ部の隙間等も発塵防止のためコーティングで埋める処理を行った。

アイリッドは、透明塩ビ帯電防止板（5mm 厚）のたれ壁としてシステム天井枠から取り付けた。耐震性に配慮し、所定の幅の塩ビ板を細幅のアルミニウム平板を介して継ぎ合わせる形とし、水平方向にも同平板による補強を設けた。コーナー部及び下辺にはアルミニウムの枠を取り付けた。これらのアルミニウム部材の仕上げはすべて 4.2 節のアルミニウム型材の原則によった。

作業台設置の際は、縁材を作業台とクリーンルームの壁の両方にシールした。ベンチが FFU の複数台分に渡るところは、隣接するベンチ同士の天板の隙間をコーティングで埋めた。

5.2.2 循環型クリーンベンチ

循環型クリーンベンチは、施設の空調設備とは独立したものとして、一般実験室やクリーンル

ームのクラス 10,000 エリアなどに採用した。製作仕様における作業面の清浄度はクラス 100 とした。

気流概念を図 5.4 に示す。内蔵の給気ファンにより室内空気を吸引し、プレフィルタ、ULPA フィルタ及び整流板を通して清浄空気を垂直層流気流で作業面上に給気する。総給気風量の 80% は作業面のパンチング板から吸引され循環により再利用される。20%は作業面外に吹き出し、この不足分を室内から取り込むことにより連続運転を行う。循環風量調整のため、作業面パンチング板下にスライドダンパを設けた。また、給気取り入れ口（プレフィルタ部）の開口は総給気風量の 20%を取り込む分の大きさに限定した。

各部仕様は汎用クリーンフードと基本的に同様である。相違点として、使用環境を考慮し ULPA フィルタの短命化を防ぐため、給気ファンの ON/OFF スイッチを設け、さらに運転状態を明瞭化するよう、ファンの ON/OFF を照明スイッチと連動したものとした。

循環型クリーンベンチについても、汎用クリーンフードと同じ項目について工場立会検査及び据付後の現地検査を行った。

5.3 クリーンルーム内純水・超純水設備

5.3.1 概要

CLEAR で使用する水は構内浄水を原水としている。クリーンルームについては清浄度への配慮から、前述のように加湿及び機器分析エリアへの給水には純水を、化学処理エリアへの給水には超純水を使用するものとした。

純水及び超純水の給水ルートの概念は図 5.5 の通りである。純水及び超純水はそれぞれ施設内に設けた純水用ループ配管を循環するものとした。ループ配管の設計では、滞留水を減らすため、ループ配管から流し台等の各使用点へ引き出す距離ができるだけ短くなるように留意した。純水配管及び弁類（ボールバルブ）の材質は、超純水の使用に適した低溶出性の配管材料の中から、加工性も考慮して、無可塑塩ビ（U-PVC）を採用した。配管類の施工は接着によった。

純水及び超純水の配管は、施工時にフラッシングと合わせ、過酸化水素を用いて使用点までの滅菌を行った。滅菌処理後は、過酸化水素の除害処理を行うと共に、使用点における除害確認の分析試験並びに生菌分析試験を行った。この滅菌は以後も定期的に行うことを想定している。

なお、クリーンルーム内の流し台の排水トラップはサービスエリアの床下に設けられており、蒸発によるトラップの封水破壊及びそのための発塵によるクリーンルーム清浄度への悪影響を防止するため、定期的に流し台に水を流す必要がある。

純水製造装置及び超純水製造装置の詳細を以下に記述する。

5.3.2 純水製造装置

純水製造装置は、図 5.5 に示すように、構内浄水を原水として、連続自動運転で純水の製造及び循環した純水の再生を行い、各使用点に純水を供給するものである。この装置は E-02 室（空調機械室）に設置した。

本装置のフロー図を図 5.6 に示す。オルガノ(株)製のユニットを組み合わせたものであり、純水製造の基本的手段は逆浸透装置による処理及びイオン交換である。施設から供給される原水は活

活性炭濾過及び安全フィルタを経て、逆浸透装置及び第1段のイオン交換により処理され、純水となつてから施設内を循環する。本装置から施設純水ループ配管へ送り出す都度、第2段のイオン交換及び菌を除くためのファイナルフィルタを通しさらに純度の高い水としている。

処理量は原水温度5℃にて1,500L/h以上を確保するものとした。このうちクリーンルームの加湿のための使用量が500L/hである。処理水の水質の設計仕様として25℃にて10MΩ·cm以上を担保するものとした。

本装置は連続自動運転であるため、逆浸透装置等各構成要素やタンクの水位等の異常を検知して、装置本体の制御盤に警報を発し、施設の中央監視装置にも一括警報を発するものとした。さらに、消耗の激しい第1段のイオン交換カートリッジは水質低下を検知して自動で予備機に切り替わるものとしたほか、活性炭濾過装置も1日1回自動で逆洗を行うものとした。

本装置によって得られる水中の微量金属元素濃度は、各室の水の使用状況や本装置の状態によって多少異なるが、Uについて2fg/g（検出限界1fg/g）、Thについて4fg/g（検出限界1fg/g）、Pbについて920fg/g（検出限界300fg/g）程度である（2002年1月現在、B-01室流し台から採水、同室にてセクタ型ICP-MS "ELEMENT"にて測定）。

5.3.3 超純水製造装置

超純水製造装置は、図5.5に示すように、上記純水製造装置による純水を原水として、連続自動運転で超純水の製造及び循環した超純水の再生を行い、化学処理工場内内の各使用点に超純水を供給するものである。この装置は機器分析エリアのB-09室に設置した。

本装置のフロー図を図5.7に示す。日本ミリポア(株)製の装置であり、供給される原水はプレフィルタ及び紫外線殺菌装置を経て、超純水ユニット"Super-Q"により処理された後、施設の超純水ループ配管内を循環する。超純水ユニットは活性炭フィルタ、イオン交換カートリッジ及びデュラポアフィルタにより構成される。また、流し台等の各使用点の直前には最終フィルタを設けた。

造水能力は15～28L/minであり、本装置出口にての水質の設計仕様値は、比抵抗値が25℃にて18MΩ·cm以上、0.2μm以上の微粒子数が20個/mL以下である。

本装置も純水製造装置と同様に連続自動運転であるため、タンクの水位や水質等の異常を検知して、装置本体の制御盤に警報を発し、施設の中央監視装置にも一括警報を発するものとした。また、超純水不使用時の循環水の水質低下及び温度上昇を防ぐため、自動運転により定期的な超純水ループ配管内のブローや装置の間欠運転を行うものとした。

本装置によって得られる水中の微量金属元素濃度は、各室の最終フィルタハウジング中の停滞水などの要因のため、各室の水の使用状況により異なってくるが、Uについて2fg/g（検出限界1fg/g）、Thについて4fg/g（検出限界1fg/g）、Pbについて540fg/g（検出限界300fg/g）程度である（2002年1月現在、A-03室流し台から採水、B-01室にてセクタ型ICP-MS "ELEMENT"にて測定）。

5.4 クリーンルーム内外のインターフェース

クリーンルームは清潔度を維持するため閉鎖空間とされている。このため、作業者及び物品の

出入りや、分析作業に必要なユーティリティの供給には、清浄度維持の観点から特別な配慮が必要となる。CLEARにおいてクリーンルーム内外のインターフェースとして特に設けた設備等について以下に述べる。

5.4.1 床下での接続

5.4.1.1 機器分析エリア

クリーンルーム内の分析機器の周辺機器（真空ポンプ、冷却水循環装置等）は原則としてサービスエリアに設置され、電源やガス等の、分析機器のためのユーティリティもサービスエリアから供給される。これらのクリーンルーム内外での接続は床下を通して行うものとした。分析機器の設置はクリーンルーム工事とは別途工事となり、将来的な機能拡張にも対応する必要があることから、これら配管・配線類の床貫通用には箱形スリープを採用し、クリーンルームの機器分析エリア及びサービスエリアのコンクリートスラブ床に埋め込んだ。

このスリープは図 5.8 に示すように、2 室に仕切られた塩ビ製の箱で、中に配管・配線の固定用にウレタンを詰め、塩ビ板で蓋をしたものである。蓋はビスで固定しプラスチック製のキャップでカバーした。このスリープを、分析機器の配置及び接続端の位置を考慮してクリーンルーム内の床の最適の位置に配置し、クリーンルームの床上で配管・配線類を引き回す距離ができるだけ短くなるようにした（図 5.9 参照）。サービスエリアの機器等はクリーンルーム内と最短距離で接続できるような配置とし、サービスエリア側の床の該当位置に同様のスリープを設けたほか、ピット内の壁の所定位置にも配管・配線用の貫通口（100mm × 200mm）を設けた。なお、原則として電源、冷却水、真空ポンプ、ガスの配管・配線はそれぞれ種類ごとにまとめて施工するものとし、異種の配管・配線がスリープの同室を共用することのないよう、必要数のスリープを設けた。

貫通部分の施工の際は、箱形スリープの底、蓋及び内部のウレタンを必要な径に応じて切り、配管・配線を貫通させた後、貫通部をコーティングでシールしたほか、蓋と床の間及び 2 室の蓋の間もコーティングによりシールした。真空ポンプ及び冷却水の配管については貫通部分のみ SUS 管にて先行して施工し、それぞれ KF フランジ及びホースアダプタ止めとして、追って床上と床下の両方から取り合う形とした。また床下の配管・配線は、スラブから吊り金物により支える形を取った。

このスリープを用いたクリーンルーム内外での接続の様子を図 5.10 に示す。

5.4.1.2 化学処理エリア

レイズドフロアが採用された化学処理エリアでは、配管等は室内の任意の場所で床を貫通することができる。グレーチングの開口のほか、ブランクパネルに貫通口を設けたものも利用可能であり、必要に応じて必要な位置に配置することができるメリットがある。

化学処理エリアではサービスエリアのピットから直接リタンプレナムチャンバ内に貫通することになる。この間の壁には必要位置にスリープを設け、塩ビ製のキャップで外部空気の侵入を防いだ。配管等はこのキャップに穴を開けて貫通させ、コーティングでシールする形とした。

5.4.2 壁の貫通

クリーンルーム内へのユーティリティ供給において、床を通した接続では距離が長すぎて望ましくないものや、将来の機能拡張へのより柔軟な対応のため、サービスエリアに面したクリーンルームの外壁にペネトレーション（アクセス用パネル）を設けた。クリーンルーム内への液体窒素の供給にはこれを利用した。

壁ペネトレーション部に配管を貫通させた断面の概念を図 5.11 に示す。ペネトレーション部はクリーンルームの H パーティションに 538mm 角の開口を設け、内外から 600mm 角の塩ビ板（5mm 厚）を発泡軟質塩ビのガスケットを挟んで取り付け、塩ビのボルト及びナットで固定したものである。貫通配管施工時の清浄度への影響を最小限とするため、二重パネル方式とした。このペネトレーションを、サービスエリアに面した室の外壁に、原則として窓の下に設けた（図 2.7 参照）。

貫通部について、図 5.11 では液体窒素供給用真空断熱配管の施工法を示した。内外の塩ビパネルに塩ビ管を貫通させ、その中に供給用配管を通した。塩ビ管と配管との間にはウレタンを詰めて配管を固定した。クリーンルーム内外の塩ビ管の断面は SUS 板で蓋をし、SUS 板と塩ビパネル及び供給配管との間はコーティングによりシールした。

5.4.3 エアシャワー及びバスボックス

クリーンルーム内外、またクリーンルーム内でも清浄度の異なるエリア間においては、作業者及び物資の出入りの際に、清浄度維持の観点から、エリア間の隔離が損なわれることや、汚染が持ち込まれることを防ぐ必要がある。このため、作業者の出入り用にエアシャワーを、物資の搬出入用にバスボックスを設けた。これらの設置場所は図 2.7 に示されている。

エアシャワーは、プレフィルタ及び HEPA フィルタを通した清浄空気を天井及び側壁からジェット状に吹き付け、立ち入り者の衣服表面に付着している塵埃を除去するものである。エアシャワーユニットのクリーン側（清浄度の高い側）のドアとダーティ側のドアとの間にはインターロックが設けられている。クリーンルームの入口だけでなく、クラス 1,000 エリアとクラス 100 エリアとの境界にもエアシャワーを設けた点は CLEAR のクリーンルームの一つの特徴である。

クラス 100 エリアとクラス 1,000 エリアとの間及び B-02 室と C-03 室との間に設けたバスボックスは、ドアのインターロック機能のみを持つ小型のものとした。B-05 室とサービスエリアとの間に設けたバスボックスは、比較的大型物品の搬出入にも対応できるものとして設置し、ドアのインターロック機能のほか、天井からのエアシャワー機能を持つものとした。このバスボックスでは人間の出入りも物理的に可能であるため、サービスエリア側のドアには錠前を設けた。

5.4.4 窓

クリーンルームは閉鎖空間であるため内部の様子が外部から分かりにくい。このため、サービスエリアに面したクリーンルーム各室の外壁には窓を設け、サービスエリアからクリーンルーム内を見る能够性を確保した。設置位置は図 2.7 に示した通りである。窓には以下のようないくつかの利用価値を想定した。

まず、自動火災報知設備発報時などの非常時に、クリーンルーム内に立ち入ることなく内部の

一次的な点検が可能となる。これは、誤報時等に不必要にクリーンルーム内を汚染するおそれを低減することや、迅速な対応等につながる。また一般的にクリーンルーム内の作業者の安全の観点からも、外部から内部の様子を把握できることは望ましい。

搬出入作業や、分析機器の周辺機器並びに各種操作盤の操作など、作業がクリーンルーム内外にまたがる場合の意志疎通にも窓は有用である。

清浄度維持の観点からはクリーンルーム内への立ち入り者を最小限に限定することが望ましい。クリーンルームに窓を設けることにより、CLEARへの見学者に対しクリーンルーム内に立ち入らせることなく対応が可能となる。

さらに、クリーンルーム内作業者の閉鎖感覚の緩和という観点でも、窓は有用な役割を持っている。

5.5 実験室用ガス等供給設備

5.5.1 ガス供給設備

分析機器等の運転では各種ガスが使用される。ガスボンベ等をクリーンルームに持ち込むと汚染の原因となり、交換等も煩雑となることから、クリーンルームにおいては、これらのガスをサービスエリアから供給する設備を設けた。クリーンルーム内で使用する主なガスは、ICP-MSのキャリアガスのアルゴンを初め、窒素、酸素などが挙げられる。特に、クリーンルーム内の分析機器のバルブ開閉では、圧縮空気は発塵源となって使用できず、また必要な使用量が小さいことから、窒素ガスをボンベから送りその圧を利用することとした。

アルゴンガスは、ICP-MS（分析棟合計で4台設置）による使用量が極めて大きく、通常のガスボンベの利用では交換が煩雑となる上、その際の圧力変動も望ましくないことから、液化アルゴンを利用し、屋外のE-08室（ボンベ庫）から配管によりB-01室及びD-03室に供給することとした。液化アルゴン容器は、内容量175L以上、供給量12m³/h以上のものを2基設けた。これに、気化能力10m³/h以上の蒸発器1式及び、液化アルゴンガス容器中のガスが不足した場合のバックアップとして47Lボンベ2本を合わせてE-08室に設けた。B-01室及びD-03室の室内には、圧力計及び流量低下時に警報（ランプ及びブザー）を発する警報器を設けた。なおこの警報は現場のみに発報する。

その他のガスは、クリーンルーム内で使用するものはすべてサービスエリアにボンベを設置した。B-01～B-03の各室には機器のバルブ開閉用に窒素を供給したほか、A-01室には灰化装置の雰囲気制御のため酸素及び窒素ガスを、B-01室にはコリジョンガスとしてアルゴン、ヘリウム、水素を、B-02室にはEPMA用にPRガスを、それぞれ供給する設備を設けた。

これらのガス配管はすべてSUSのBA管とし、クリーンルーム内への配管ではすべて前述の箱形スリーブ等を用いた。ただしA-01室への配管では、リタンプレナムチャンバ内にはテフロン管を用いた。

5.5.2 液体窒素の供給設備

クリーンルーム内で液体窒素を使用するのはB-02室及びB-04室である。液体窒素も上記のガスと同様、容器をクリーンルーム内に出し入れするのは望ましくないことから、壁ペネトレーシ

ヨンを通してサービスエリアから供給するための真空断熱配管設備を設けた。この設備の概要を図 5.12 に示す（ただし貫通部分の詳細は図 5.11 参照のこと）。クリーンルームの内外に止め弁を設け、サービスエリア側は液体窒素デュワー瓶の着脱を可能としたほか、クリーンルーム内は簡易断熱ホースで延長して分析機器或いは使用容器までの供給を可能とした。配管内の圧力上昇を防ぐため、バネ式の圧力逃し弁を設けた。

また B-04 室では、作業者が一人で液体窒素供給作業を行えるように半自動供給仕様とし、液位センサー及びこれと連動して所定の液位に達すると自動閉止となる供給弁をクリーンルーム内に設けた。

5.6 クリーンルーム入退域管理システム

クリーンルーム内は清浄度維持の観点から、必要な教育訓練を受けていない部外者が施設関係者の立ち会いなしに立ち入ることを防ぐ必要がある。また施設関係者についても、清浄度管理の観点から立ち入り状況の把握・管理は重要であり、さらにクリーンルームが閉鎖空間であることから、非常時にクリーンルーム内の在室者を外部から把握することは、作業者の安全の観点からも重要である。

以上のような目的で、クリーンルームの入退域管理システムを導入した。所内には PP 施設などで、個人カードを利用した入退域管理を行っている施設があり、同様のシステムの導入も検討したが、1) クリーンルーム用無塵衣を着用した状態でのカードの出し入れが困難、2) カードの紛失や貸し借りの危険がある、3) カード発行に時間と費用を要する、などの点から、CLEAR では指紋または「ID 番号+パスワード」の入力により個人を識別するシステムを導入した。

入退域管理は、クラス 1,000 エリア入口及びクラス 100 エリア入口の 2箇所のエアシャワー（図 2.6、図 2.7 参照）のドアの電気錠を利用して行う。このシステムは施設内の情報ネットワークを利用したものであり、エアシャワーの入口に設置した指紋認証装置（2 台× 2 組）、指紋認証装置からの指紋情報の照合及び指紋登録を行う指紋認証装置制御用 PC、在室情報表示用 PC 及び在室情報表示パネル 2 台から構成される。

入退域管理の概要は以下の通りである。エアシャワー入口の指紋認証装置にて、指紋または「ID 番号+パスワード」を入力することにより、予め登録した個人を識別し、エアシャワーに入るドアに開錠信号を送る。この開錠操作の情報により、クラス 100 及びクラス 1,000 のエリア別に滞在者と滞在時間を管理する。在室情報は施設内のパネルに表示するほか、Web を通して、施設内ネットワークに連なる PC（居室を含む）から確認することができるものとした。なお施設外からのアクセスは不可である。

在室情報の表示内容は以下の通りである。

- a. クラス 1,000、クラス 100 エリア別の在室者名、入室時刻、滞在時間、エリア別の現在の在室人数。入室時刻順だけではなく、在室者名の順にも表示可能である。
- b. クラス 1,000 エリアからクラス 100 エリアへの移動の場合、クラス 1,000 エリアに表示されている在室者名の色を反転、滞在時間を停止し、クラス 100 エリアに在室者名を表示する。
- c. クラス 100 エリアからクラス 1,000 エリアへの移動の場合、クラス 100 エリアに表示されていた在室者名の色を反転、滞在時間を停止し、クラス 1,000 エリアに表示されていた在室者

名の色を戻し、滞在時間の積算を開始する。

- d. クラス 1,000 エリアから出る場合、これまでの表示をクリアする。

また、指紋照合情報、ドア閉情報などは、全てリアルタイムでログ記録を行うものとした。搬入室からの出入りなど、通常の手順と異なる出入りを行うなどして、エアシャワーにおける出入りの情報が整合しない場合は、エラーとして記録するものとし、ログや表示の矛盾訂正はシステム管理者のみが行えるシステムとした。なお記録されたログを元に、作業者の在室延べ時間を把握できるため、クリーンルームの清掃や衣服等の管理計画に反映させることが可能となる。

なお、本システムのエアシャワーユニットに対する関与は開錠信号を送るのみであるが、エアシャワー本体側としては以下のような動作を行う。

- a. 指紋認証装置からの開錠信号を受けて開錠する。
- b. クリーン側のドアとダーティ側のドアのインターロック機能。
- c. いずれかのドアが開いているときはエアジェットが動作しないインターロック機能。
- d. 自火報発報信号を受けて開錠する。
- e. 停電時は開錠となる。
- f. 非常時用に、シャワー室の内外に開錠ボタンを有する。これを使用した場合、入退域管理上はエラーとして処理される。開錠ボタンは、再度押すことにより通常の動作に復帰する。

5.7 情報ネットワークシステム

CLEAR の情報ネットワークシステムは、所内外とのデータ通信や施設内でのデータ転送、ファイルやプリンタの共有といった一般的目的のほか、研究棟から分析棟内の分析機器を制御することや、清浄度を保つためクリーンルーム内の記録や情報交換に係る紙の使用を抑制するといったことも目的としている。クリーンルーム内の情報コンセントはその趣旨に則り、記録データ等が発生する機器分析室、天秤室及び試料保管室に設けた。

東海研構内で光ファイバーを基幹とするネットワークを整備する方針に従い、CLEAR 施設内でも光ファイバーを基幹システムとして採用し、機器の選定においても所内ネットワークとの整合性に配慮した。またこれらの基幹システムの導入により、ギガビットイーサネット (GbE) に対応となるため、将来の通信トラフィックの増大にも対応できる。

CLEAR のネットワーク構成概念を図 5.13 に示す。東海研情報交流棟から敷設されたシングルモード 6 芯の光ファイバーケーブルを、研究棟の光成端箱 TS-3 で受ける。このうち 2 芯がデータ送受信用、他の 2 芯が将来の CATV 用、残りは予備である。研究棟～分析棟間はシングルモード 2 芯の他にマルチモード 4 芯を用意し、より安価なマルチモード用ネットワーク機器導入にも対応できるものとした。情報交流棟～研究棟～分析棟間は 1000Base-LX にて通信する。またネットワーク制御機器は、研究棟は 103 号室（データ処理室）、分析棟はサービスエリアに設置し、研究棟にはメール及び Web のサーバーも併せて設置した。

CLEAR のネットワークシステムの大きな特徴は、研究棟側のネットワーク機器がグローバル IP アドレスを持つのに対し、分析棟側はローカル IP アドレスを持つことである。これは、ネットワークに接続された分析機器等が施設外から不正にアクセスされることを防止するための措置

として導入した。

個別機器の仕様の概要は以下の通りである。研究棟のレイヤー 3 スイッチは、内蔵の 1000Base-LX モジュールにて情報交流棟のネットワーク機器と通信し、10Base-T/100Base-TX ポートにて CLEAR 内の機器と接続する。研究棟及び分析棟のファーストイーサネットスイッチ (FE) は、ともに通信速度 100M/10Mbps で半二重／全二重通信をサポートするものであり、前者はトランкиング機能によりレイヤー 3 スイッチと 800Mbps (全二重時) で接続を行う。これらのスイッチはいずれもネットワーク管理機能 (SNMP) を有しており一元管理が可能であるとともに、無停電電源装置 (UPS) にて常時電源がバックアップされているものとした。UPS は、停電時に対象機器を最低 5 分間動作できる容量を持ち、また停電時にはサーバーを自動でシャットダウンするものとした。また施設内の各スイッチより下流のネットワークケーブルは、将来の拡張性を考慮し、すべて 1000Base-T 対応の UTP ケーブル (エンハンスド・カテゴリ 5) とした。

6. 安全設備

6.1 放射線管理設備

CLEAR の管理区域の放射線管理設備のダストモニタ配管系統図を図 6.1 に示す。

CLEAR の放射線管理においては、スタックダストモニタ、ルームダストモニタを各 1 チャンネルとした。監視対象は α 線放出核種とし、ZnS シンチレーション検出器により連続監視を行うほか、二個式自動濾紙交換装置を併設して、濾紙上に捕集したダストの放射線測定を行えるものとした。この濾紙は週一回程度の交換頻度を想定した。検出器及び自動濾紙交換装置は、E-06 室（排気機械室(2)）に設置した。

ルームダストモニタのサンプリングについては、クリーンルームの清浄度維持の観点から方式を検討し、以下のようなものとした。監視対象は、核燃料物質使用許可内容とも絡んで、非密封で核燃料物質を扱う計画のある部屋とした。クラス 1,000 及びクラス 10,000 の部屋については、対象となる全部屋から常時空気を吸引してサンプリングを行うものとし、異常が検出された場合には、各部屋の手動弁を切り替えて、汚染の発生した部屋を特定する方式とした。一方クラス 100 エリアの部屋については、相互汚染を防ぐため、一度にサンプリングする部屋は 1 部屋のみとし、作業状況に応じてサンプリングする部屋を切り替えるものとした。このために各部屋のサンプリング配管には電動ボール弁を設け、同時に複数の弁が開かないような回路構成とした（この開閉信号を得るため電磁弁でなく電動ボール弁を採用した）。この電動ボール弁はルーツプロア停止時は全弁閉止とした。ただし停電時は、電動ボール弁は停電前の状態を維持する。また全部屋について、ルーツプロア停止時の逆流によるクリーンルーム汚染防止のため、逆止弁を設けた。

クリーンルーム内のサンプリング端は、室圧の差により部屋から廊下への空気の流れがあることから、各室の出口付近に設けた。室内の配管及びボール弁、逆止弁等は全て塩ビ製のものとした。通常の管理区域のサンプリング端には室内で濾紙上にダストを捕集するためのエアスニーファ及び流量計が取り付けられているが、これらは清浄度に悪影響を及ぼすおそれがあるため CLEAR のクリーンルームにおいては採用せず、機械室に上記の濾紙によるダスト捕集部及び流量計を設けた。ただし、室内で局所サンプリングが必要となった場合にホースを取り付けられるよう、各室のサンプリング端はタケノコ形状とした。

サンプリングのため空気を吸引するルーツプロアは、E-06 室（排気機械室(2)）に 2 台設置し、1 台は予備機とした。吸引量はルームダスト、スタックダストの全体で 350L/min (1 箇所につき 50L/min) とした。ルーツプロアは現場の制御盤のみにて操作を行うものとし、故障時の予備機起動や通常時の号機切替も放管員が手動で行うものとした。ルーツプロアの排気は AC-4 系統に接続するものとし、AC-4 系統が停止した場合（すなわち管理区域の給排気系統が全停止）、ルーツプロアも連動停止するものとした。

上記の放射線管理設備の監視のため、放射線管理モニタ監視盤を、研究棟の 115 号室に設けた。この盤では、ルームダスト及びスタックダストの常時監視を行うほか、ルーツプロア及び自動濾紙交換装置の状態表示も行う。電動ボール弁の開閉操作及び状態表示もこの盤にて行う。スタックダストモニタの異常が検出された場合は、放管モニタ監視盤より副警報盤に警報を発する。な

お、ルーツプロア並びに電動ボール弁と放管モニタ監視盤との間の信号のやりとりは、施設監視室の中央監視分電盤を介したものとした。

上記放管設備は、管理区域の給排気系統の運転時には常に機能している必要がある。そのため、放管モニタ監視盤、ルーツプロア及び自動濾紙交換装置と検出器の電源は EG 系とし、停電時にルーツプロアは EG 系により自動起動するものとした。

6.2 火災対策

6.2.1 火災の検知

CLEAR 分析棟のクリーンルーム部分について、火災検知器の設置場所と種類を断面の概念図を用いて図 6.2 に示す。

6.2.1.1 自動火災報知設備（自火報）

法定の自動火災報知設備として、分析棟では図 6.2 に示す位置に光電アナログ式（2 種）の煙感知器を設けた。この作動により、CLEAR においては「火災発生」と認識される。煙感知器の作動の情報は、研究棟の玄関に設けられた複合火災受信機にて集約され、施設内に警報を発すると共に、東海研中央警備室にも発報し、関係者に自動通報がなされる。複合火災受信機では、発報した箇所を具体的に表示するものとし（部屋番号、クリーンルーム／プレナムチャンバーの別など）、迅速な対応に寄与すると共に、不必要にクリーンルームを汚染する可能性の低減を図った。

法定の自動火災報知設備は、消防法の規定により天井に設置する必要があるが²²⁾、クリーンルームにおいては、FFU が運転している限り天井から下方向の気流が存在するため、室内の火災を室内の感知器で検知するのは実質的に困難である。室内で発生した煙は下方向気流によりリタンプレナムチャンバまたはリタンダクト内へと運ばれ、サプライプレナムチャンバへと循環してきたところでサプライプレナムチャンバ内の煙感知器で検知されると考えられる。なお、簡易型クリーンベンチのアイリッドで囲まれた部分は壁で部屋から仕切られているという見方もあり得るが、「ダクトの吹き出し口」と見なしてこの部分の天井面への煙感知器の設置は免除される旨、東海村消防当局の了解を得た。

上記の自火報発報時に、被害拡大防止、避難及び事故対応、さらに HEPA フィルタの保護のため、施設内設備との連動を設けた。給排気設備及びクリーンルームの FFU は、発報した系統について停止する（詳細は 3.3.2 節参照）。またクリーンルーム出入口のエアシャワーの電気錠は自火報発報に連動して開錠となる。この際、自火報をリセットすると連動して再施錠されるため、自火報のリセットは、発報確認のため入室した消防隊員等がクリーンルームから退域したことを確認後に行う必要がある。

法定の自火報設備は定期的に試験をする必要があるが、クリーンルーム内で実際に煙粒子を用いた試験は望ましくないため、複合火災受信機の試験機能により信号を送る方法で試験を行うこととした。

6.2.1.2 超高感度煙検知システム

クリーンルーム内では前述のように、下方向気流の存在により火災の検知が難しく、さらにFFUにより室内空気が循環するたびに煙粒子がHEPAフィルタで濾過されるため、室内の煙濃度が上昇しない。そのため、できるだけ早期にクリーンルーム内の火災を発見する補助的手段として、超高感度煙検知システムを導入した。このシステムは法的に自火報設備として認められたものではないため、自主設置という位置づけとなる。公式な「火災発生」の認識はあくまで自火報発報によるものである。

このシステムの煙検知の原理は図6.3に示すように、サンプリング管を通して室内空気を煙センサ内に吸引して、光散乱により煙粒子を検知するものである。図6.2に示すように、サンプリング管は監視対象となる室のリタンウォール中に、煙センサはプレナム天井上に、それぞれ各室に独立なものとして設置した。検出レンジ（1m離れたところでの減光の割合で示す）はmax 0.1%/m、0.2%/m、0.5%/mの3種類から、施設の状況に合わせて選択することができる。なお法定の光電式煙感知器（2種）の作動感度は10%/mである。

システムの動作としては、上記レンジの中で3段階に警告を発し、研究棟の玄関に設けた超高感度煙警報盤に部屋ごとに表示する。本施設では、第3段階において、警告音と警告灯表示を行うような設定とした。また現場付近の作業者が発報を認識できるよう、サービスエリアに遠方表示盤を設けた。

本システムによる監視対象は、清浄度が高く火災の検知が困難な化学処理エリア及び、ホットプレートが使用されるなど、火災発生の可能性が大きい部屋として、A-01～A-07、A-09、B-06～B-08室とした。

本システムは、設置時に試験用エアロゾルをサンプリング管に吹き付けて実際に粒子を検知する試験を行った。クリーンルーム運転開始後の定期点検ではこうした粒子を使用した試験が望ましくないため、煙センサとサンプリング管とを切り離し、前者のセンサについて粒子検知試験を行い、後者は圧力をかけて管が閉塞していないかを調べる試験とする。

6.2.2 消火器

クリーンルーム内においても、法令に従った消火器の設置が求められる。一般のABC粉末消火器は、使用時は勿論、不使用時も転倒等により粉末が放出されると、クリーンルームに壊滅的な打撃を与えることが危惧される。清浄度維持の観点からは、金属元素による汚染の可能性が小さく、使用後の清掃の負担も小さい二酸化炭素消火器が望ましいが、法令ではCLEARのクリーンルームは「無窓階」に該当するため、二酸化炭素消火器を設置してはならないと規定されている^{22), 23)}。また、比較的影響が小さいと期待される泡消火器は、電気設備火災への対応が法令上認められていない²²⁾。従って次善の策として、クリーンルーム内に設置する消火器は中性強化液を霧状に放射するタイプのものとした。強化液の成分は、有機エステル塩類を主成分として、フッ素系界面活性剤を添加したものである。なお消火活動における動線を考慮すると、研究棟、一般実験室、サービスエリアに設置した消火器もクリーンルーム及びサプライプレナムチャンバ内で使用される可能性があることから、これらの場所にも同タイプの消火器を設置した。

クリーンルーム内の消火器は、化学処理エリア及び機器分析エリアの廊下に設置した。消火器本体はクリーンルームの清浄度維持に適した仕様になつてないため、プラスチック製の窓付の

箱を設けてその中に収納することとした。

実際のクリーンルーム内火災時には、消火器の使用はあまり望ましくなく、また初期消火が重要なことから、消火スプレーや消火布の併用が有効と考えられる。

6.2.3 屋内消火栓設備

CLEAR の屋内消火栓設備は、一般的なものを法規に基づき、研究棟、サービスエリア及び機械室に設置した。消火栓ポンプは E-02 室（空調機械室）に、消火水槽は機械室側屋外に、消防辅助水槽は機械室 1 階屋上に設置した。

6.3 非常用シャワー設備

CLEAR の実験室では劇薬の薬品類が使用され、ホットプレート等を用いてこれら劇薬を大量に開放系で加熱するような危険性の高い作業も想定される。このため、万一作業者が劇薬を浴びたり、火災に遭ったりした場合に備え、クリーンルーム及び一般実験室に非常用シャワー設備を設けた。このシャワーは、上記のような作業が想定される部屋から出たところの廊下に設けた（図 2.7 参照）。

CLEAR の非常用シャワー設備では、シャワーが使用された際に使用者の救助に駆けつけることができるよう、警報を発するようにした点が大きな特徴としてあげられる。警報は施設監視室の中央監視分電盤に個別のシャワーごとにランプとブザーで表示するほか、勤務時間外の実験者への対応を考慮し副警報盤にも一括して発報するものとした。また、定期的にこの警報機能の試験を行えるようにするために個別にバイパス配管及びブローバルブを設け、合わせてシャワー周りの配管内の停滯水の排出も可能とした。非常用シャワー設備の配管系統の概念図をクリーンルーム内のものについて図 6.4 に示す。クリーンルーム内のシャワーのブローバルブはサービスエリアの流し台にて行うものとした。なお、クリーンルーム内では床にドレンを設けると乾燥して発塵源となると考えられたため、いずれのシャワーでも床にドレンは設けないものとした。また使用時に必要な給水量を確保するため、クリーンルーム内も含めて非常用シャワーには浄水を使用した。

一般的に非常用シャワーに用いられる引き下げ作動・自閉式のバルブは、金属部分が室内に露出するので、クリーンルーム内では採用せず、代わりに塩ビの給水管を天井裏から一旦手元まで立ち上げ、操作用に塩ビのボールバルブを設けた上で再び天井へ立ち上げる方式を探った。クリーンルーム内で採用したこのような方式では、バルブに自閉機能がないので使用後は閉止操作が必要である。またシャワーのヘッドも、クリーンルーム内ではプラスチック製のものを特に用いた。

6.4 実験室の加熱機器対策

実験室において、給排気系の停止時に、ホットプレート等の実験用加熱機器による加熱が続けられていると、酸蒸気等が室内に充満するおそれや、火災を引き起こすおそれがあり危険である。そのため、クリーンルーム及び一般実験室において、こうした加熱機器を給排気系に連動して停止させる措置を講じた。

具体的な手段として、各室の実験盤の電源を、当該給排気系統の停止に連動して遮断するもの

とした。基本的に単相 100V 電源は一括して連動遮断するものとし、その他必要に応じて電源種別ごと、または個別回路ごとに連動遮断するものとした。ただし分析機器の連続運転が前提となる B-01 ~ B-04 室及び D-01 ~ D-03 室については原則としてこうした一括連動遮断の対象外とし、必要に応じ個別回路ごとに連動遮断を設けた。なお、給排気系の再起動時は、これらの電源も連動して復帰する。

6.5 連絡・通話設備

CLEAR における施設内の連絡・通話設備として、一斉放送の設備を設けたほか、研究棟及び分析棟の各室に電話、ページング、スピーカを設けた（機械室エリアはページングとスピーカのみ）。一斉放送を行う放送設備の主装置は、施設監視室よりも居室の方が関係者の在室時間が長く便利であろうとの判断で、研究棟の 117 号室に設置した。

クリーンルームの化学処理エリアにおいては室内にできるだけ金属設備を設置しない原則に基づき、これらの連絡・通話設備も廊下のみの設置とした。しかしクリーンルーム内では FFU やクリーンフードのファン音が大きく、警報音や呼出等が聞こえないおそれがあるため、廊下に警告灯を設けた。警告灯は必要に応じ、研究棟 117 号室の放送設備主装置より関係者が点灯操作を行うものとした。またサービスエリアのスピーカはクリーンルーム内にもある程度聞こえるよう、大音量のホーン型スピーカを採用した。

6.6 安全警報設備（副警報盤）

東海研の施設としての安全警報設備として、CLEAR にも副警報盤を設けた。副警報盤に表示する項目は一般に工務関係、放射線関係、施設関係のそれぞれについてランク I とランク II の区分を設けるが、本施設は核燃料物質使用施設とはいえ、使用する核燃料物質は極微量で、周辺環境に重篤な影響を与える事態は考えられないことから、表示項目はすべてランク II の扱いとした。表示項目を表 6.1 に示す。

このうち、「換気系統異常」と「クリーンフード異常」は、核燃料物質使用施設としての安全面への影響よりも、むしろ清浄度維持等の観点から実験作業への影響が重大であることから、「施設関係」の項目とした。「中和装置異常」は非管理区域の排水に関するものだが、実験室からの廃液が適切に処理されずに施設外に排出されることは放置すべき事態ではないため、副警報盤に発報し関係者が迅速に対処できるようにした。「非常用シャワー作動」は人身に関わる事項であるためこれも副警報盤に発報するものとした。なお本施設の非常用発電機は、核燃料物質使用施設としての安全担保ではなく、清浄度維持を目的としたものであり、異常が生じても対処の緊急性に乏しいことから、副警報盤の表示項目とはしなかった。

7. その他の主要設備

7.1 電気設備

7.1.1 電源設備容量

CLEAR の電源は、東海研構内 F63 分岐盤より、6600V で受電され、電気室の各種高圧配電盤及び低圧配電盤を経て建家内設備機器に供給される。変圧器の容量は以下の通りである。

● 単相電源

- 低圧電灯配電盤 (210-105V) : 100KVA
- 低圧単相実験配電盤 (210-105V) : 150KVA
- 保安動力電灯配電盤 (105V) : 10KVA

● 三相電源

- 低圧動力配電盤 (420V) : 750KVA
- 低圧三相実験配電盤 (210V) : 500KVA

このほか、非常用発電機は三相 210V、50Hz で、220KVA の容量を持つものとした。非常用電源系 (EG 系) の負荷は、3.3.3 節に記述したクリーンルーム空調設備・機器のほか、それらの監視・制御に必要な計測制御系、放射線管理設備一式 (6.1 節参照)、廃液貯槽周りの自動弁及び液面監視、ドライエリア雨水排水ポンプ、消火栓ポンプ、その他の保安動力及び保安電灯とした。

実験室の設備機器への電源供給は、サービスエリア及び各一般実験室に設けた実験盤からなされる。その容量は、使用機器を特定し、それぞれの負荷容量をメーカーの示す設置仕様の値に準拠して電源種別 (相及び電圧) ごとに積算することにより決定した。またクリーンフード及びクリーンベンチには 1 台当たり 1500VA のコンセント容量を持たせた。各実験盤においてはこれらの積算値に対して 100% の容量を持たせたが、各実験盤への電源供給の元となっている低圧実験配電盤においては、実験機器の現実的な負荷率を考慮して総積算値の 50% の容量とした。

7.1.2 接地設備

CLEAR の接地設備は、建家電気設備全体のためのものほか、これと独立に分析機器用のものを設けた点に特徴がある。

建家電気設備用の接地は、電圧種別ごとに A ~ D 種を設けた。法令等に基づく接地線及び接地極の共用制限²⁴⁾より、接地抵抗目標値を 2Ω 以下とした上で 1 極共用接地工事とし、目標値を達成するためボーリング工法を採用した。A ~ D を総合した抵抗値は接地極における実測で 1.4Ω であり、共用制限に基づく目標値を満足していることを確認している。さらに低抵抗値を得るために建家構造体を補助極として接続した。なお本施設のコンセント設備はすべて接地端子付のものとした。

分析機器用の接地設備は、躯体を含む上記のいずれからも独立なものとして設けた。電源系と完全に分離することにより、漏れ電流が機器分析に影響することを防いでいる。SIMS 及び EPMA 用の接地は、他の分析機器とも共用せず完全に個々の機器に単独のものを設けた (B-02 室用及び D-01 室用に各 2 組)。その他の分析機器 (ICP-MS、TIMS、TXRF、Xe-MS) については共用

のものを 1 組設けた。これら計 5 組の接地の抵抗目標値はそれぞれ 10Ω 以下とした。

以上計 6 組のボーリングアースは、10m 以上の間隔を設けて、建家の北側及び南側に設置した。

なお避雷設備については、CLEAR は 20m 未満の建築物であるため、法令上要求されず²⁵⁾、建家構造体を利用することとしている²⁶⁾。

7.1.3 ノイズ低減対策

電力線は電磁誘導及び静電誘導により、通信線に対してノイズとして影響を与える可能性がある。これらを低減するための対策として、電力線と通信線を別々のラックに敷設するか、同一ラック上に敷設する場合は鋼製のセパレータを使用して離隔処理をし、さらに通信線にはシールド線を使用した。また電力ケーブルは 3 芯形を採用し、ねん架することにより、静電誘導を生じにくいものとした。電気室及び自家発電機室は実験室及び居室と隣接しない配置とし、影響が伝わらないようになっている。また、高調波ノイズを発するインバータを使用する動力機器については、インバータ回路の上流及び下流にノイズフィルタを設けた。

分析機器に対する直接のノイズについては、分析機器側で必要に応じノイズフィルタを設けるなどの対策をとるものとした。電圧変動に対する対策も同様とした。

7.2 廃液処理設備

7.2.1 管理区域

管理区域内から排出された廃液は、E-04 室（廃液貯槽室）の廃液貯槽に一時貯留し、放射性物質濃度の測定及び中和を行う。放射能濃度が濃度限度¹⁸⁾以下であることを確認し、pH が水質汚濁防止法に定める範囲内（5.8 ~ 8.6）²⁷⁾であれば、運転員の弁操作により一般排水溝へ排水する。このような設計思想に基づいた廃液貯槽設備の系統図を図 7.1 に示す。

廃液貯槽は横型円筒、容量 $5m^3$ のものを 2 基設置した。SUS304 製で、酸廃液への耐性を考慮して、槽内面にはガラスクロス 2 層+エポキシライニング加工（液入口下底部はガラスクロス 3 層）を施した。

槽内の水位が「H（高）」となると、中央監視装置に信号を送ると共に、他方の貯槽で廃液を受けるように自動で切り替わる設計とした。さらに水位が「HH（高高）」となると副警報盤に警報を発するものとした。また E-04 室の床には防液堤及びサンプルピットを設け、万一の漏水の際にも廃液の回収を可能とした。

廃液の放射能性物質濃度は、循環ポンプを運転してサンプリングを行い測定する。万一濃度限度を越えた場合は、廃液運搬車により廃棄物処理場に搬送し処理できるよう、タンクローリー接続口を設けた。

廃液の pH は各貯槽に設けられた pH 計により監視され、E-04 室の自動制御盤にて表示される。中和処理は、酸（10%硫酸）またはアルカリ（10%苛性ソーダ）薬液を、運転員による薬注ポンプの手元操作により、廃液を循環させるラインの中途に注入する方式とした。

7.2.2 非管理区域

一般実験室及びその系統のスクラバーからの非放射性廃液は、ポンベ小屋の E-10 室（原水タンク室）に中和処理装置を設置し、自動的に連続中和処理を行って放流する方式とした。この装置による処理のフロー図を図 7.2 に、装置動作のフロー図を図 7.3 に示す。廃液は E-10 室の貯槽で受け、原水ポンプにより中和槽へと汲み上げる。中和槽は中和室及び監視室を併せ持つものであり、中和室に必要な薬注操作を行って中和し、監視室にて pH が水質汚濁防止法に定める範囲内 (5.8 ~ 8.6) であれば自動放流する。放流時の pH 値は記録計により連続的に記録する。

この装置も連続自動運転であるため、タンクの水位等の異常を検知して、装置本体の制御盤に警報を発するとともに、施設の中央監視装置にも一括警報を発するものとした。この装置の異常は、放流する廃液の適切な処理がなされないことを意味するため、副警報盤にも一括警報を発報するものとした。

8. クリーンルームの性能評価

8.1 クリーンルーム As-built 試験

8.1.1 クリーンルームの状態の定義

クリーンルームの性能（空気清浄化の能力）は、そのクリーンルームの利用状態によって異なる。従って性能の仕様及び評価においては、どの状態における清浄度を対象としたものかを明確にする必要がある⁸⁾。クリーンルームの利用状態は、次の3段階として定義されている¹²⁾。

a. As-built（施工完了時）

施設がすべての設備の接続を完了して機能できる状態にあるが、生産機器、材料または要員が存在していない状態。

b. At-rest（装置設置時）

施設が機器の据付けを完了し、顧客及び供給業者（supplier）が合意した形式で操業できる状態にあるが、要員が存在していない状態。

c. Operational（操業時）

施設が指定の形式で機能しており、指定の数の要員が存在していて合意された形式で作業している状態。

このうち、a.、b.における試験は作業環境のバックグラウンド状態評価、c.では運用開始後の日常的モニタリングと位置づけられる。特にa.における試験（As-built試験）は、竣工時に仕様通りの性能のクリーンルームが建設されたかどうかを確認するもので、無負荷の状態におけるバックグラウンドデータとして後の運用においても重要な基礎データとなる⁸⁾。

8.1.2 CLEARにおけるAs-built試験

8.1.2.1 CLEARにおけるAs-built状態

CLEARのクリーンルームにおいても、設計上の清浄度はAs-built状態におけるものとしており、As-built試験をクリーンルーム工事の検収条件とした。別途工事であっても、施設の給排気または給排水設備の一部を構成し、設置しないと施設設備が機能しないもの、並びにクリーンルームのパネル内配線を必要とし、パネル完成後に施工すると清浄度に重篤な影響を及ぼすおそれのあるものは、As-built状態に含めるものとした。As-built状態に含まれず、As-built試験後にクリーンルーム内に導入したものは以下のようなものである。

- ・簡易型クリーンベンチ作業台
- ・床貫通箱形スリーブ及び外壁ペネトレーションを貫通する配管・配線
- ・分析機器類
- ・什器類
- ・小型超純水製造装置、その他の実験装置、器具類

8.1.2.2 試験内容

As-built試験の項目及び検査要領は、IEST（米国環境科学技術協会）の勧告する手順書を参考

に検討した²¹⁾。選択した項目及び判定基準を表 8.1 に示す。なお清浄度測定の測定要領及び判定基準は連邦規格 209E に準拠した¹⁰⁾。

このうち清浄度回復特性試験は、クリーンルームの運転停止・再起動時における清浄度の変化を測定し、時間に対してプロットした回復曲線を作成するものである。点検や異常事態などでクリーンルームの運転を停止した場合、どの程度清浄度に影響が生じ、また運転を再開してから清浄度が回復するまでにどれだけの時間を要するかということは、作業計画立案や異常時の影響評価などの点で重要な関心事である。またこの試験は、クリーンルームの空気清浄化性能を端的に示すものもある²²⁾。試験を行う代表室は、化学処理エリアは各室の仕様が似通っていることから代表して A-05 室とし、機器分析エリアでは、ICP-MS 測定用の溶液試料が開放系で置かれる可能性がある B-01 室、部屋の容積が特に大きい B-02 室及び長時間の器具洗浄が行われる可能性がある B-06 室とした。運転停止から再起動までの時間は約 1 日とした。

振動試験の代表室は、特に振動をきらう部屋として、天秤による秤量を行う A-08 室と、EPMA による電顕観察を行う B-02 室を選定し、そのほかにクリーンルーム内での位置関係から C-08 室を選んだ。さらにサービスエリアでは機械室からの振動の影響がクリーンルーム内よりも大きいと考えられることから、6 点について測定を行った。

なお、振動、騒音、清浄度回復特性の各試験は、判定基準を設けた検収条件とはせず、今後の施設運用の参考のための基礎データ採取という位置づけで行った。またフィルタリーク試験及び清浄度回復特性試験においては、測定用のエアロゾル粒子を導入して行う方法もあるが^{21), 22)}、これは運用後のクリーンルームの清浄度（極微量分析におけるバックグラウンド）に影響を及ぼすおそれが大きく、また CLEAR のクリーンルームでは粒子導入のための設備も設けていないため、本試験では大気塵による測定とした。

As-built 試験は、検収条件として原研建設部の担当者の立ち会いの下で工事請負者が実施した。

8.1.2.3 試験結果

CLEAR のクリーンルームの As-built 試験では、前節の各項目について、全体に仕様を満足する結果が得られた。清浄度測定（粒子計数）試験の結果を集約したものを表 8.2 に、清浄度回復特性試験で得られた回復曲線を図 8.1(a), (b) に示す。これより、CLEAR のクリーンルームは設計仕様より遙かに高い空気清浄化性能を持ち、かつ運転停止時も、再起動から数分で停止前の清浄度まで回復することが確認された。

As-built 試験で若干問題が見られた部分は、検収条件ではないが振動測定の結果である。A-08 室の測定結果について、加速度・変位の時刻歴波形解析では、Y 方向の波形にうねりが見られた。また同室データの周波数解析では、約 23Hz に卓越ピークを持ち、20Hz 以上の周波数帯が励起されている様子が見られた。B-02 室の測定結果でも、大きさは小さいものの、約 23Hz にピークが見られた。この約 23Hz 近傍のピークは FFU 等の空調設備からの振動と推定され、他の振動はポンプ等の機器からのものが伝達している可能性が示唆された。A-08 室で特に振動が見られたのは、床がレイズドフロアであることにより、振動が伝達されやすい環境であったためと考えられる。A-08 室には防振ゴムを使用した天秤台を設置しており、一般のミクロ天秤の使用には差し支えないと考えられるが、より精密な天秤を使用する場合には注意を要することが、

As-built 試験の結果から示唆された。

8.2 エリアプランク試験

クリーンルームの清浄度は空気中の浮遊微粒子濃度により定義・評価されるが、これはあくまで、ある粒径を持つ粒子についての、その構成物質を問わない評価である。極微量分析において化学操作における汚染の影響を考える際には、こうした作業雰囲気の浮遊微粒子自体の多少という清浄度はもちろん重要であるが、分析対象物質のバックグラウンドを評価することも、より実質的に関わってくる重要事項である。

分析における汚染の影響を評価するには、同一の手順を試料なしで行って比較する、いわゆるプランク試験が一般的に行われる。この場合、作業雰囲気からの汚染の他、化学操作に用いる水、試薬、容器等、分析値に影響を与えるさまざまな要因が複合した影響が評価される。

CLEAR のクリーンルームが、本施設の目的である核物質の極微量分析に適した環境を達成しているかどうかを評価するため、運用を開始した初期段階において「エリアプランク試験」を実施した。これは、分析手順に則った操作は行わず、作業雰囲気に溶液を曝露して降下物を捕集し測定することにより、作業雰囲気が分析操作のプランクに与える寄与を評価することを試みたものである²⁹⁾。

試験方法は以下の通りとした。46mm 径のテフロン製容器に、超純水と高純度硝酸を用いて硝酸濃度 2%とした溶液 40g を入れ、作業面高さ付近である床上 750mm の位置に設置して、雰囲気に 7 日間曝露した。その後、B-01 室のセクタ型 ICP-MS "ELEMENT"で、本施設において最も関心の高い元素であるウラン（質量数 238）等の測定を行った。リファレンスとして、同様に調製し蓋をして同期間おいたものも測定した。

上記エリアプランク試料は、クリーンルーム内においては化学処理エリア及び機器分析エリアの廊下（A-11 室及び B-12 室）の壁際に設置して評価した。廊下は各室の空気が流入し、作業者の往来もあることから、各エリア内では最も清浄度の条件の悪い場所と考えられ、保守的評価を行う観点で選定した。ただし B-07 室は廊下よりも室圧が低く設定されているため、この部屋内も評価対象とした。また比較のため、一般実験室（D-04 室及び D-05 室）でも同様の評価を行った。

評価結果は、7 日間に容器内に捕集されたウラン量として、クリーンルーム内のものについてはいずれも検出限界以下の <0.05pg であったのに対し、一般実験室のものでは 0.4 ~ 0.6pg のウランが検出された。これより、廊下における保守的評価でも、クリーンルームの作業雰囲気に由来するウランのバックグラウンドレベルは非クリーンルーム環境より 1 衍以上低減されており、これにより少なくともサブピコグラムレベルのウランの分析が可能となり、CLEAR のクリーンルームが核物質の極微量分析に有用であることが確認された。実際の化学操作は主にクリーンフード等の作業面において、クラス 10 の環境にて行われるため、雰囲気由来のバックグラウンドは本評価より大幅に低いレベルにあることが期待される。

CLEAR を極微量分析の分析所として運用していくに当たっては、上記のような雰囲気由来のバックグラウンドの傾向を継続的に評価していくことや、試薬や器具等に起因するプランクの評価及び低減が重要であると考えられる。

9. 結語

本論文は、日本原子力研究所が東海研究所に整備した、高度環境分析研究棟（CLEAR）について、整備に至る背景、経緯から、設計、施工及び運用開始段階における性能評価までを概観したものである。

本施設は保障措置環境試料分析への利用を第一目的に、環境試料中の極微量核物質の化学分析のためのクリーンルームを有する施設として整備された。本施設のクリーンルームの仕様の概要を、他の IAEA ネットワーク分析所のものと比較すると、最近の数カ所に限ってみても表 9.1 のようになる。本施設は同種のクリーンルームを備えた化学分析施設としては世界的にも他に類を見ない大規模なものであり、質量分析計を中心に、最先端の分析機器を多数導入した。しかし、CLEAR の特徴はその規模だけでなく、表 9.1 に示すように、質的にもクリーン化学分析施設の仕様として最高水準に並ぶものを備えている。すなわち、極微量分析において作業環境のバックグラウンドに起因する汚染及び相互汚染をできる限り低減するという目標のもと、分析作業の諸要件に応えるよう、各室の機能、空気清浄化設備を始めとする施設設備、実験用設備等の設計がなされ、またクリーンルームの材料選定や実際の施工においては細部まできめ細かい配慮がなされた。必要な機能を有するだけでなく、分析施設としての使い勝手や作業者の安全を考慮し、独自の工夫を随所に盛り込んだ。さらに、核燃料物質使用施設としての要件とクリーン化学分析施設の要件とを両立させて極微量核物質の分析を可能とした点は、本施設の大きな特色である。そして本施設のクリーンルームは、完成時の性能評価において、設計仕様以上の空気清浄化性能を示したうえ、化学分析におけるバックグラウンドの観点でも、非クリーンルーム環境と比較して低バックグラウンド化を実現したことが確認された。これらのことから、本施設の整備により、環境試料中の極低レベルの核物質について信頼性ある分析を行うための実験室環境面での条件は整ったと結論づけることができる。

今後本施設の運用においては、その機能と性能を最大限に生かし、さらなるバックグラウンド低減を目指すような方向性が重要となろう。すなわち清浄度維持を意識した各種作業要領の検討と遵守、日常的なクリーンルーム環境の評価、クリーンルーム及び作業面の清掃、などが重要事項となろう。

CLEAR の整備のきっかけは保障措置への貢献が主眼であったが、その他に CTBT 遵守検証のための活用及び、環境科学に係る基礎研究も目的としている。特に環境科学研究の分野では、高清浄度・低バックグラウンド環境と極微量同位体組成分析技術を生かし、核物質を初めとするアクチニド元素や重金属元素の極微量成分（環境負荷物質やトレーサー物質等）を対象とした環境中動態研究等に、本施設が強力なツールとして威力を発揮することが期待される。

謝辞

高度環境分析研究棟（CLEAR）の整備及び本論文の執筆に当たり、各方面で数え切れないほど多くの方に御協力を賜りました。ここにそれらの方々への謝意を表したいと思います。

米国エネルギー省（DOE）の専門家諸氏（J. Cappis、D. Rokop、W. Efurd の諸氏を初めとするロスアラモス国立研究所関係者及び、D. Swindle、R. Perrin、B. Vickers の諸氏を初めとする DOE の請負関係者）には、CLEAR の施設設計段階において本施設の基本思想にも関係する有益な御提案を多数頂き、またクリーンルームの施工及び試験についてもコメントを頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

原研の核燃料物質使用施設として本施設を整備するに当たっては、保健物理部施設放射線管理第一課、旧技術部施設第一課を初め、安全管理室、保安管理室、核燃料対策室、構内課、庶務課、旧技術業務課、企画室等、関係諸方面の各位に多大な御尽力を頂きました。深く感謝いたします。

また、本施設整備の担当部署であった旧燃料サイクル安全工学部核物質管理技術研究室及び、環境科学研究所環境技術開発グループ、分析科学研究グループ、放射性核種データ解析研究グループの諸関係者、燃料サイクル安全工学部及び環境科学研究所の関係者にも、様々な形で御協力を頂きました。ここに感謝いたします。

さらに、本施設の設計・施工・物品製作等に直接関わったすべての請負者諸氏には、諸制約や様々な困難の中で、本施設整備の趣旨を尊重して最大限御尽力頂き、多くの有用な御提案や御配慮を頂きました。ここに最大限の謝意を表したいと思います。

参考文献

- 1) Pellaud B.: "IAEA Symposium on International Safeguards, 13-17 October 1997", International Atomic Energy Agency, Vienna, Session 1 (1997).
- 2) Cooley J. N., Kuhn E. and Donohue D. L.:ibid., IAEA-SM-351/182 (1997).
- 3) Deron S., Donohue D., Kuhn E., Sirisena K. and Tsarenko A.: J. Nucl. Mat. Management, 28(2), 27 (2000).
- 4) International Atomic Energy Agency: "Model Protocol Additional to the Agreement(s) between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards", IAEA, Austria, INFCIRC/540 (1997).
- 5) 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年6月10日法律第166号)
(平成11年6月16日改正).
- 6) 間柄正明, 半澤有希子, 江坂文孝, 宮本ユタカ, 安田健一郎, 鶴田保博, 津田申士, 渡部和男, 白田重和, 西村秀夫, 安達武雄：“核物質管理学会日本支部第20回記念大会論文集”, 核物質管理学会日本支部, 183 (2000).
- 7) JIS Z8122 (2000).
- 8) 環境科学フォーラム(編)：“クリーンルームのおはなし”, (財)日本規格協会, 東京(2001).
- 9) (社)日本空気清浄協会(編)：“クリーンルーム環境の計画と設計”, オーム社, 東京(2000).
- 10) US Federal Standard 209E (1992).
- 11) US General Services Administration: "Notice of Cancellation for Fed-Std-209E on November 29, 2001" (2001).
- 12) ISO 14644-1 (1999).
- 13) JIS B9920 (1989).
- 14) Magara M., Hanzawa Y., Esaka F., Miyamoto Y., Yasuda K., Watanabe K., Usuda S., Nishimura H. and Adachi T: Appl. Radiat. Isotopes, 53, 87 (2000).
- 15) Esaka F., Watanabe K., Magara M., Hanzawa Y., Usuda S., Gunji K., Nishimura H. and Adachi T.: "Proc. of the 12th Int. Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry", Elsevier Science B. V., 977 (2000).
- 16) Esaka F., Watanabe K., Magara M., Hanzawa Y. and Usuda S.: J. Trace and Microprobe Techniques, 19(4), 487 (2001) .
- 17) Lamberty A., Moody J. R., Duffel E. V., De Bievre P., Broothaerts J., Taylor Ph. and Lathen C.: Fresenius J. Anal. Chem., 357, 359 (1997).
- 18) 試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、線量限度等を定める件(昭和63年7月26日科学技術庁告示第20号)(平成12年12月26日改正).
- 19) 核燃料物質の使用等に関する規則(昭和32年12月9日総理府令第84号).
- 20) Hanzawa Y., Magara M., Watanabe K., Esaka F., Miyamoto Y., Yasuda K., Gunji K., Sakurai S., Takano S., Usuda S. and Adachi T.: J. Nucl. Sci. Technol., 40(1), in press.

- 21) Institute of Environmental Sciences and Technology: IEST-RP-CC006.2 (2000).
- 22) 消防法施行令（昭和 36 年 3 月 25 日政令第 37 号）.
- 23) 建築消防実務研究会（編）：“建築消防 advice 2001”，新日本法規出版，名古屋，15-1 (2001).
- 24) 内線規程専門部会（編）：“内線規程（電気技術規程使用設備編） JEAC 8001-2000”，（社）日本電気協会，東京，83 (2000).
- 25) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）.
- 26) JIS A4201 (1992).
- 27) 排水基準を定める総理府令（昭和 46 年 6 月 21 日総理府令第 35 号）.
- 28) （社）日本空気清浄協会（編）：“クリーンルーム環境の施工と維持管理”，オーム社，東京 (2000).
- 29) Takahashi M., Magara M., Sakurai S., Kurosawa S., Sakakibara T., Hanzawa Y., Esaka F., Watanabe K., Usuda S. and Adachi T.: J. Nucl.Sci. Technol., to be published.

表1.1 IAEAネットワーク分析所(文献3)より引用)

Laboratory	Areas of analytical services					
	Nuclear material analyses	Heavy water analyses	Reference particle provision	Environmental material provision	Environmental particle analyses	Environmental bulk analyses
AEA Technology, Harwell, UK	X	X	X	X	X	X
Atomic Energy Commission Laboratory (AECL), ChalkRiver, Canada	X					
Air Force Technical Applications Center (AFTAC), USA			X			X
Atomic Weapons Establishment (AWE), Aldermaston, UK			X			X
Bundesanstalt fuer Materialforschung (DAM), Germany	X		X			
CEA Laboratories (Marcoule & Saclay), France			X			
CEA Laboratories (Bruyeres la Chatel & Valduc), France	X					
*** DOE Network of Analytical Laboratories, (DOE SANES), USA				X	X	
Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), EU			X			
KFKI Atomic Energy Institute, Budapest, Hungary	X					
**) V. G. Khlopin Radium Institute (KRI), St. Petersburg, Russian Federation	X		X			
Laboratory for Microparticle Analysis, Moscow, Russian Federation				X		
DOE New Brunswick Laboratory (NBL), USA			X			
Netherlands Energy Research Foundation, Petten, Netherlands	X					**)

表1.1 IAEAネットワーク分析所³⁾（続き）

Laboratory	Areas of analytical services				
	Nuclear material analyses	Heavy water analyses	Reference material provision	Environmental particle analyses	Environmental bulk analyses
<u>Nuclear Material Control Center, Safeguards Analytical Laboratory, Tokai, Japan</u>		X			
<u>Nuclear Research Institute (NRI), Rez, Czech Republic</u>		X			
<u>Austrian Research Centre (OeFZS), Austria</u>		X			
<u>Safeguards Analytical Laboratory (SAL), IAEA</u>	X			X	
<u>Transuranium Institute (ITU), Karlsruhe, EU</u>			X		
<u>VTT Chemical Technology, Espoo, Finland</u>			X	X	
					**))

**) Laboratories in the process of adding environmental sample analysis qualification

***) SANES includes the following DOE Laboratories: Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL); Los Alamos National Laboratory (LANL); Oak Ridge National Laboratory (ORNL); Pacific Northwest National Laboratory (PNL); Savannah River Technology (SRT)

表1.2 CLEAR整備スケジュール

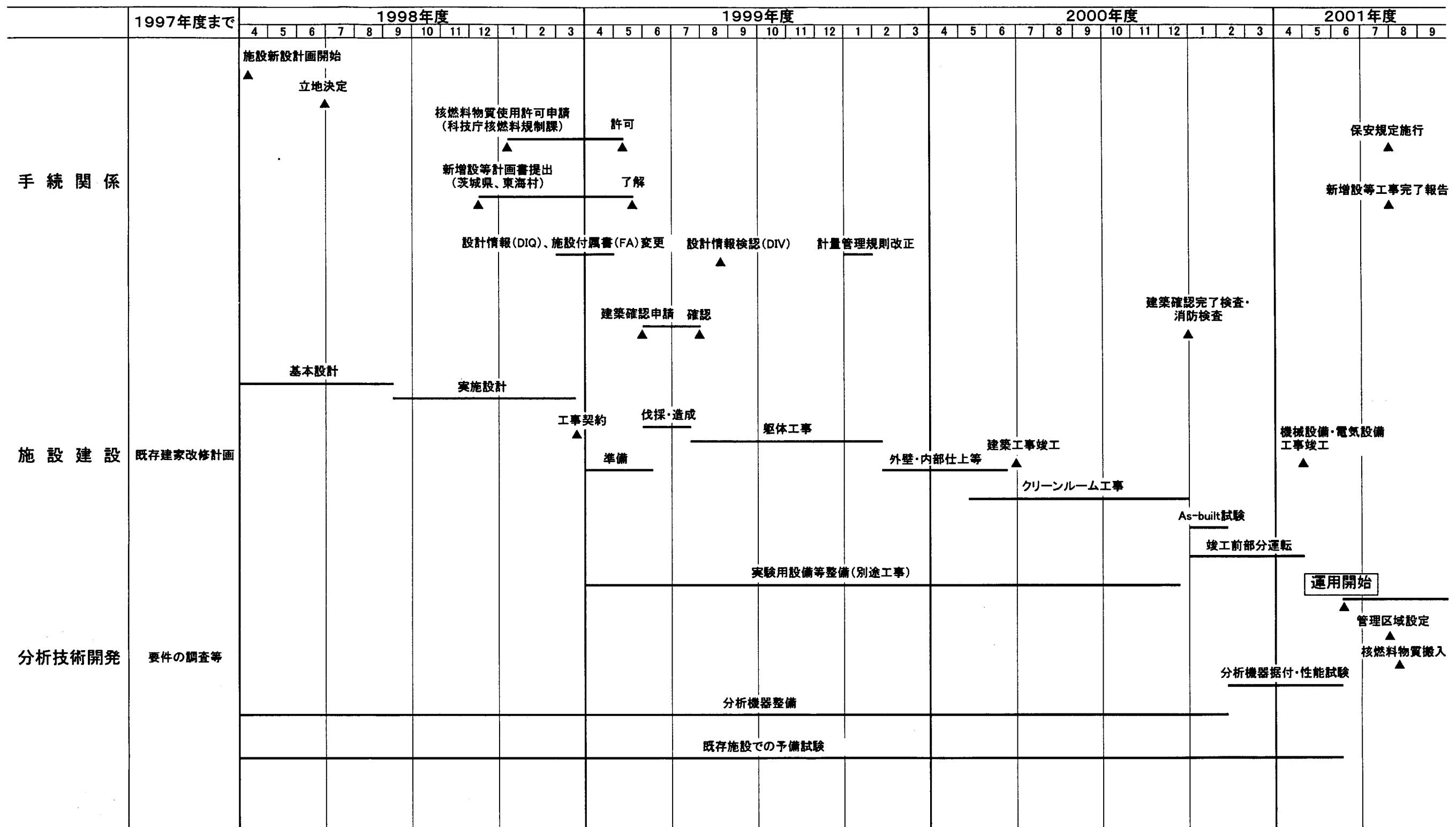


表1.3 CLEARにおける核燃料物質使用計画

分析法	使用目的	種類(核種)	1回当たりの最大使用量	最大使用回数	年当たりの最大使用量
(TIMS)	校正	^{235}U	$7.99 \times 10^4 \text{ Bq}/1\text{ng}$	24回/3月、96回/年	0.0767 Bq/960ng
	(硝酸溶液)	^{238}U	$1.24 \times 10^4 \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	0.0119 Bq/960ng
		^{239}Pu	2.29 Bq/1ng	"	220 Bq/96ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	14.0 Bq/96ng
スペイク (硝酸溶液)	校正	^{233}U	3.56 Bq/10ng	120回/3月、480回/年	1710 Bq/4800ng
		^{236}U	$2.39 \times 10^{-2} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	11.5 Bq/4800ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	70.1 Bq/480ng
		^{244}Pu	$6.71 \times 10^{-4} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	0.322 Bq/480ng
(プロセスブランク)	校正	^{233}U	3.56 Bq/10ng	$96 \times 2\text{回}/3\text{月}、384 \times 2\text{回}/\text{年}$	2734 Bq/7680ng
		^{236}U	$2.39 \times 10^{-2} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	18.4 Bq/7680ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	112 Bq/768ng
	(硝酸溶液)	^{244}Pu	$6.71 \times 10^{-4} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	0.515 Bq/768ng
(ICP-MS)	校正	^{235}U	$7.99 \times 10^{-4} \text{ Bq}/10\text{ng}$	24回/3月、96回/年	0.0767 Bq/960ng
	(硝酸溶液)	^{238}U	$1.24 \times 10^{-4} \text{ Bq}/10\text{ng}$	240回/3月、960回/年	0.119 Bq/9600ng
		^{239}Pu	2.29 Bq/1ng	24回/3月、96回/年	220 Bq/96ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	14.0 Bq/96ng
スペイク (硝酸溶液)	校正	^{233}U	3.56 Bq/10ng	120回/3月、480回/年	1710 Bq/4800ng
		^{236}U	$2.39 \times 10^{-2} \text{ Bq}/10\text{ng}$	"	11.5 Bq/4800ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	70.1 Bq/480ng
		^{244}Pu	$6.71 \times 10^{-4} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	0.322 Bq/480ng
(プロセスブランク)	校正	^{233}U	3.56 Bq/10ng	$96 \times 2\text{回}/3\text{月}、384 \times 2\text{回}/\text{年}$	2734 Bq/7680ng
		^{236}U	$2.39 \times 10^{-2} \text{ Bq}/10\text{ng}$	"	18.4 Bq/7680ng
		^{242}Pu	0.146 Bq/1ng	"	112 Bq/768ng
	(硝酸溶液)	^{244}Pu	$6.71 \times 10^{-4} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	0.515 Bq/768ng

表1.3 CLEARにおける核燃料物質使用計画（続き）

分析法	使用目的	種類(核種) 1回当たりの最大使用量	最大使用回数	年当たりの最大使用量
(ICP-MS)	スペイク (エリアブランク)	^{233}U $3.56 \text{ Bq}/10\text{ng}$	780回/年	$2777 \text{ Bq}/7800\text{ng}$
	^{236}U	$2.39 \times 10^{-2} \text{ Bq}/10\text{ng}$	"	$18.7 \text{ Bq}/7800\text{ng}$
	^{242}Pu	$0.146 \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	$114 \text{ Bq}/780\text{ng}$
(硝酸溶液)	^{244}Pu	$6.71 \times 10^{-4} \text{ Bq}/1\text{ng}$	"	$0.524 \text{ Bq}/780\text{ng}$
ペーティクル分析 (SIMS)	校正 (密封状線源 各1個)	^{235}U $7.99 \times 10^{-5} \text{ Bq}/1\text{ng}$	—	$7.99 \times 10^{-5} \text{ Bq}/1\text{ng}$
	^{238}U	$1.24 \times 10^{-5} \text{ Bq}/1\text{ng}$	—	$1.24 \times 10^{-5} \text{ Bq}/1\text{ng}$
	^{238}Pu	$63.3 \text{ Bq}/0.1\text{ng}$	—	$63.3 \text{ Bq}/0.1\text{ng}$
	^{239}Pu	$0.229 \text{ Bq}/0.1\text{ng}$	—	$0.229 \text{ Bq}/0.1\text{ng}$
α 線スペクトロメトリ	校正 (密封状線源1個)	^{238}Pu $300 \text{ Bq}/0.474\text{ng}$	—	$300 \text{ Bq}/0.474\text{ng}$

*注:

- ベルク分析では、10試料 (Blank及びQA/QC試料含む) を1 Runとする。TIMSとICP-MSの校正は1 Runの前後2回行う。
- 1 Runに要する時間は、化学処理に2~4週間 (前処理が複雑な試料: 4週間)、前処理が簡単な試料: 2週間)、同位体及び放射能測定等に2週間、合計4~6週間とする。これを交互に行い、1ヶ月(4週間)に平均2 Runs、10試料 (Blank及びQA/QC試料含む) 処理できるものとする。
- プロセスプランクは各試料につき2、試料数 $480 \times 8/10 = 384$ 、エリアブランクは15室×52週 = 780として想定した。エリアブルク対象の15室は、A-01~09、B-01~04、B-06及びB-07とする。

表2.1 CLEARに導入された主な分析機器

設置した部屋	機種	モデル	製造元	備考
B-01	ICP-MS	ELEMENT	Thermo Finnigan	高分解能型
	ICP-MS	IsoProbe	Micromass	マルチコレクター型
	ICP-MS	Agilent 7500	Agilent Technologies	四重極型
B-02	SIMS	IMS-6f	CAMECA	
	EPMA	SX-100	CAMECA	
	TXRF	TREX-610T	Technos	
B-03	TIMS	TRITON-TI	Thermo Finnigan	同型機2台
D-01	SEM	JSM-6700F	JEOL	
D-03	Xe-MS	MM-5400	Micromass	
	ICP-MS	HP-4500	Agilent Technologies	四重極型

表4.1 クリーンルーム建材の評価試験データ

(a) 建材1m²当たりの0.01N硝酸に対する溶出量

建材	元素溶出量 (μg/m ²)				
	Al	Ca	Fe	Zn	Pb
長尺塩ビシート(1)	59.1	9448.8	59.1	106.3	2.2
長尺塩ビシート(2)	20.9	5118.1	25.2	98.4	<0.8
長尺塩ビシート(3)	11.4	7480.3	23.6	200.8	<0.8
長尺塩ビシート(4) ^{*1}	11.8	2126.0	10.6	24.0	<0.8
ポリフッ化ビニルフィルム(1) ^{*1}	5.9	63.0	2.7	2.4	<0.8
ポリフッ化ビニルフィルム(2)	7.9	106.3	3.2	3.9	<0.8
壁・天井パネル用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	31.9	23.2	39.4	29.5	2.3
レイズドフロア用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	98.4	74.8	12.6	2519.7	1.3
アルミニウム型材用クリア一塗料 ^{*1}	4902.0	54.9	174.5	25.5	0.9
汎用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	102.4	114.2	6.3	13.0	7874.0
過塩素酸用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	22.4	3.9	<0.8	<0.8	<0.8
簡易型クリーンベンチ天板用塩ビ板 ^{*1}	8.3	18897.6	55.1	3.6	1.2

(b) 建材1m²当たりの超純水に対する溶出量

建材	元素溶出量 (μg/m ²)				
	Al	Ca	Fe	Zn	Pb
長尺塩ビシート(1)	0.9	3858.3	11.8	86.6	<0.8
長尺塩ビシート(2)	5.9	1732.3	8.7	133.9	<0.8
長尺塩ビシート(3)	2.2	708.7	2.1	9.8	<0.8
長尺塩ビシート(4) ^{*1}	4.7	1023.6	3.9	18.1	<0.8
ポリフッ化ビニルフィルム(1) ^{*1}	1.9	102.4	<0.8	2.0	<0.8
ポリフッ化ビニルフィルム(2)	<0.8	94.5	<0.8	1.9	<0.8
壁・天井パネル用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	1.6	7.5	<0.8	3.9	<0.8
レイズドフロア用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	17.3	43.3	1.2	1181.1	<0.8
アルミニウム型材用クリア一塗料 ^{*1}	0.5	64.7	0.8	14.1	<0.8
汎用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	22.0	106.3	<0.8	9.4	4724.4
過塩素酸用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	3.6	1.1	<0.8	<0.8	<0.8
簡易型クリーンベンチ天板用塩ビ板 ^{*1}	59.1	10236.2	26.0	1.3	<0.8

^{*1} 施工・製作に用いた。

表4.1 クリーンルーム建材の評価試験データ（続き）

(c) 溶出液（0.01N硝酸）の検出器カウント数

建材	カウント数(cps)					
	m/z=232			m/z=238		
	ブランク	試料	STD ^{*2}	ブランク	試料	STD ^{*2}
長尺塩ビシート(1)	2	11	2034	17	49	2088
長尺塩ビシート(2)	2	33	2034	17	23	2088
長尺塩ビシート(3)	2	12	2034	17	18	2088
長尺塩ビシート(4) ^{*1}	2	14	2034	17	21	2088
ポリフッ化ビニルフィルム(1) ^{*1}	2	7	2034	17	12	2088
ポリフッ化ビニルフィルム(2)	2	6	2034	17	12	2088
壁・天井パネル用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	43	34	2215	33	47	2360
レイズドフロア用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	43	35	2215	33	37	2360
アルミニウム型材用クリア一塗料 ^{*1}	43	43	2215	33	56	2360
汎用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	15	12	2413	9	33	2503
過塩素酸用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	15	13	2413	9	18	2503
簡易型クリーンベンチ天板用塩ビ板 ^{*1}	15	14	2413	9	29	2503

(d) 溶出液（超純水）の検出器カウント数

建材	カウント数(cps)					
	m/z=232			m/z=238		
	ブランク	試料	STD ^{*2}	ブランク	試料	STD ^{*2}
長尺塩ビシート(1)	10	16	2660	13	14	2856
長尺塩ビシート(2)	10	9	2660	13	17	2856
長尺塩ビシート(3)	10	25	2660	13	14	2856
長尺塩ビシート(4) ^{*1}	10	11	2660	13	12	2856
ポリフッ化ビニルフィルム(1) ^{*1}	10	18	2660	13	16	2856
ポリフッ化ビニルフィルム(2)	10	14	2660	13	14	2856
壁・天井パネル用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	51	45	2215	43	36	2360
レイズドフロア用エポキシ樹脂塗料 ^{*1}	51	40	2215	43	38	2360
アルミニウム型材用クリア一塗料 ^{*1}	51	47	2215	43	41	2360
汎用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	11	12	2131	13	11	2136
過塩素酸用クリーンフード等用塩ビ板 ^{*1}	11	9	2131	13	9	2136
簡易型クリーンベンチ天板用塩ビ板 ^{*1}	11	10	2131	13	14	2136

^{*1} 施工・製作に用いた。^{*2} STDは0.1ppbの²³²Th、²³⁸U混合標準液を同様に測定し、得られたカウント数。

表6.1 CLEAR副警報盤表示項目

種類	区分	項目
	ランク I	—
工務関係	ランク II	廃液貯槽満水
		サンプピット満水
		一般排水槽満水
放射線関係	ランク I	消火水槽異常
		—
		ランク II
施設関係	ランク I	スタックモニタ
		—
		ランク II
建家停電	—	換気系統異常
		中和装置異常
		非常用シャワー作動
建家停電	—	クリーンフード異常
		—
		—

表8.1 クリーンルームAs-built試験における試験項目及び判定基準

項目	判定基準
FFUフィルターリーク試験	0.3μm以上の粒子について計測し、連続カウントのないこと。また、粒子が検出された場合は、その位置で10秒以上連続計測を行いカウントがないこと。
FFU風量測定及び風量均一性確認	風速測定値から計算で求めた各FFU風量が設計風量の100%から120%以内であること。各FFU風量の相対標準偏差が±15%以内であること。
清浄度測定試験	各測定点の平均値が、各々の室の清浄度クラス以上であること。また、測定点が9点以下の場合は上方信頼限界（UCL）で清浄度クラス以上であること。
差圧測定（風向確認試験）	設計通りの差圧と気流方向を満足していること。
温湿度測定	設計温湿度を満足していること。
振動測定	(判定基準は設けず測定結果における評価とする。)
騒音測定試験	(判定基準は設けず測定結果における評価とする。)
清浄度回復特性試験	試験前の清浄度近くまで回復すること。

表8.2 クリーンルームAs-built試験における清浄度測定試験結果

室番号	部屋名	測定粒径	測定点数	設計清浄度 (個/cf) ¹³⁾	平均値 (個/cf)	上方信頼限界 ^{*1} (個/cf)
A-01	前処理室(1)	≥0.3μm	13	≤300	4.2	-
A-02	前処理室(2)	≥0.3μm	17	≤300	1.1	-
A-03	前処理室(3)	≥0.3μm	25	≤300	1.6	-
A-04	化学処理室(1)	≥0.3μm	20	≤300	1.6	-
A-05	化学処理室(2)	≥0.3μm	25	≤300	0.3	-
A-06	化学処理室(3)	≥0.3μm	25	≤300	1.1	-
A-07	化学処理室(4)	≥0.3μm	25	≤300	2.2	-
A-08	天秤室	≥0.3μm	12	≤300	0.3	-
A-09	試薬調製室	≥0.3μm	13	≤300	1.8	-
A-10	管理用具室(1)	≥0.3μm	5	≤300	0.0	0
A-11	廊下(1)	≥0.3μm	34	≤300	0.4	-
B-01	質量分析室(1)	≥0.5μm	17	≤1,000	3.5	-
B-02	質量分析室(2)	≥0.5μm	22	≤1,000	3.3	-
B-03	質量分析室(3)	≥0.5μm	18	≤1,000	6.6	-
B-04	放射能測定室	≥0.5μm	21	≤1,000	3.0	-
B-05	機器搬入室	≥0.5μm	8	≤1,000	8.9	13
B-06	器具洗浄室	≥0.5μm	8	≤1,000	0.9	2
B-07	標準試料調製室	≥0.5μm	5	≤1,000	21.8	42
B-08	化学準備室	≥0.5μm	5	≤1,000	11.8	18
B-09	器具保管室(1)	≥0.5μm	5	≤1,000	1.2	2
B-10	器具保管室(2)	≥0.5μm	5	≤1,000	0.0	0
B-11	管理用具室(2)	≥0.5μm	5	≤1,000	0.0	0
B-12	廊下(2)	≥0.5μm	22	≤1,000	0.4	-
C-02	試料保管室	≥0.5μm	5	≤10,000	81.0	140
C-03	粒子処理室(1)	≥0.5μm	5	≤10,000	126.6	208
C-04	放射線管理室(1)	≥0.5μm	5	≤10,000	7.8	15
C-05	放射線管理室(2)	≥0.5μm	5	≤10,000	63.8	89
C-06	更衣室(女子)	≥0.5μm	5	≤10,000	69.8	168
C-07	更衣室(男子)	≥0.5μm	5	≤10,000	32.2	52
C-08	廊下(3)	≥0.5μm	5	≤10,000	29.4	40

^{*1} 測定点数が9点以下の場合。

表9.1 最近のIAEAネットワーク分析所のクリーン化学分析施設とCLEARとの仕様比較

項目	IRMM ^{*1}	IAEA-SAL ^{*2}	ITU ^{*3}	CLEAR
建設時期	1991年運用開始	1995年竣工	1996年運用開始	2001年運用開始
クリーンルームの床面積	約120m ²	約250m ²	約40m ²	約700m ²
作業内容	化学処理	化学処理、機器分析	粒子試料処理	化学処理、機器分析、粒子試料処理
清潔度 ^{[10)}	Lab III: クラス10～100 (作業面クラス10) Lab II: クラス100～1,000 Lab I: クラス1,000～10,000	作業面: クラス100 室内: クラス100～10,000	作業面: クラス10 室内: クラス100	作業面: クラス10 化学処理エリア室内: クラス100 機器分析エリア室内: クラス1,000及び10,000
クリーンルームの主要材料	塩ビ等の樹脂	アルミニウム 表面樹脂仕上げ	アルミニウム 表面樹脂仕上げ	アルミニウム 表面樹脂仕上げ
温湿度条件	19℃±0.5℃ 相対湿度55±2.5%	22℃±2℃ 相対湿度40～60±5%	20℃±2℃	23℃±1℃ 相対湿度50±5%

^{*1}Institute for Reference Materials and Measurements, EU^{*2}Safeguards Analytical Laboratory, IAEA^{*3}Transurium Institute (ITU), Karlsruhe, EU

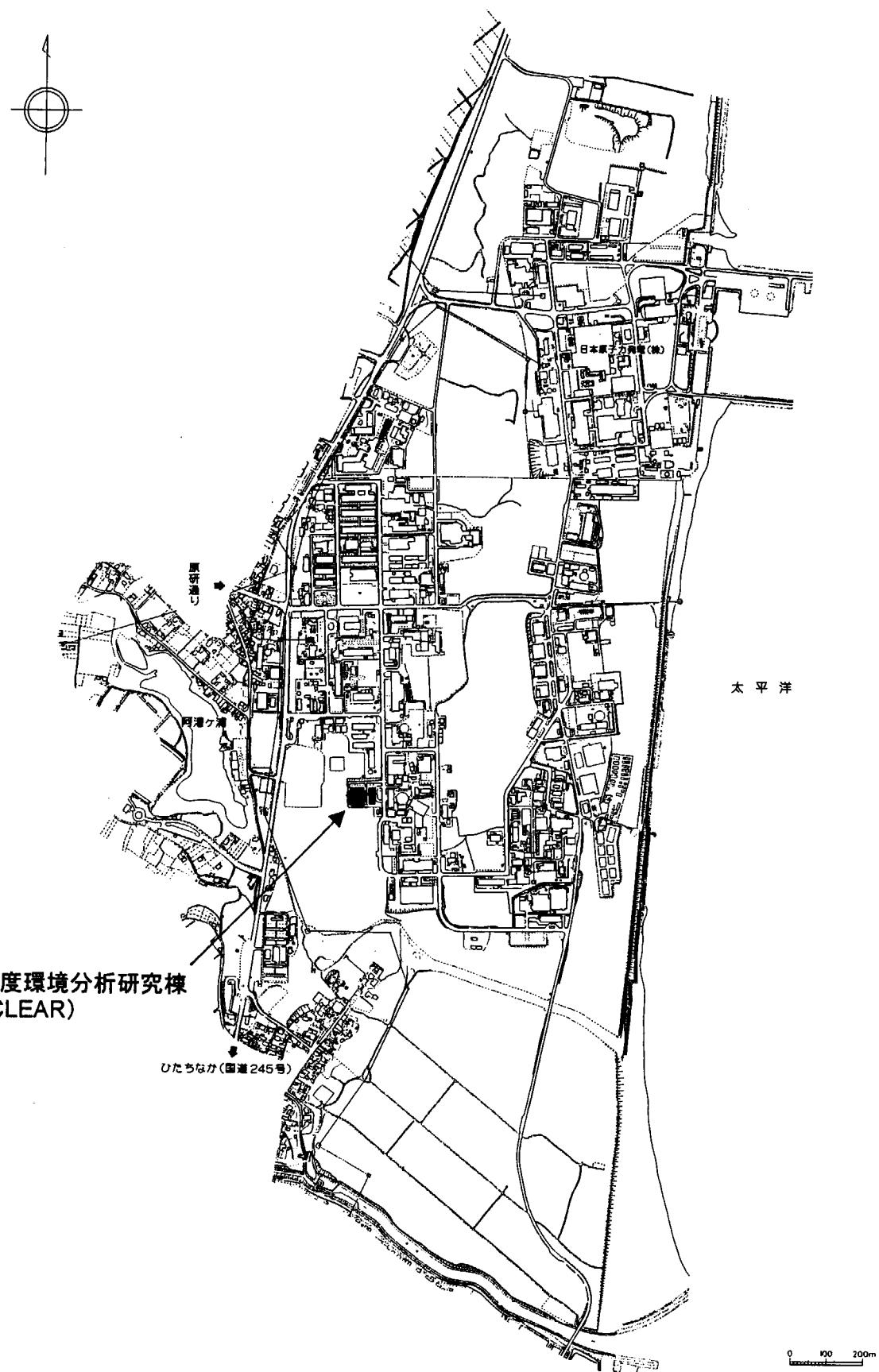


図1.1 日本原子力研究所東海研究所構内配置図

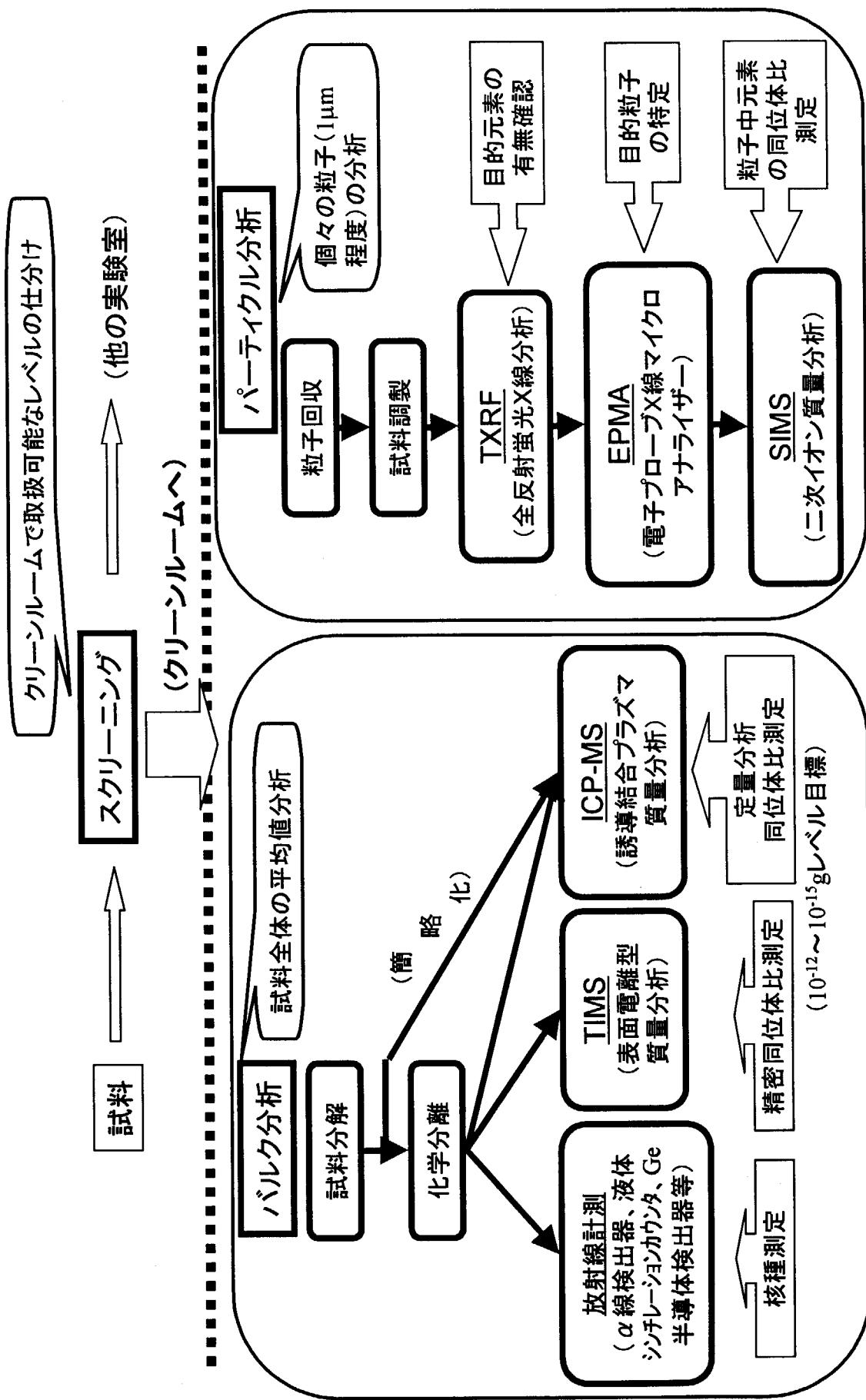


図1.2 保障措置環境試料分析のフロー図

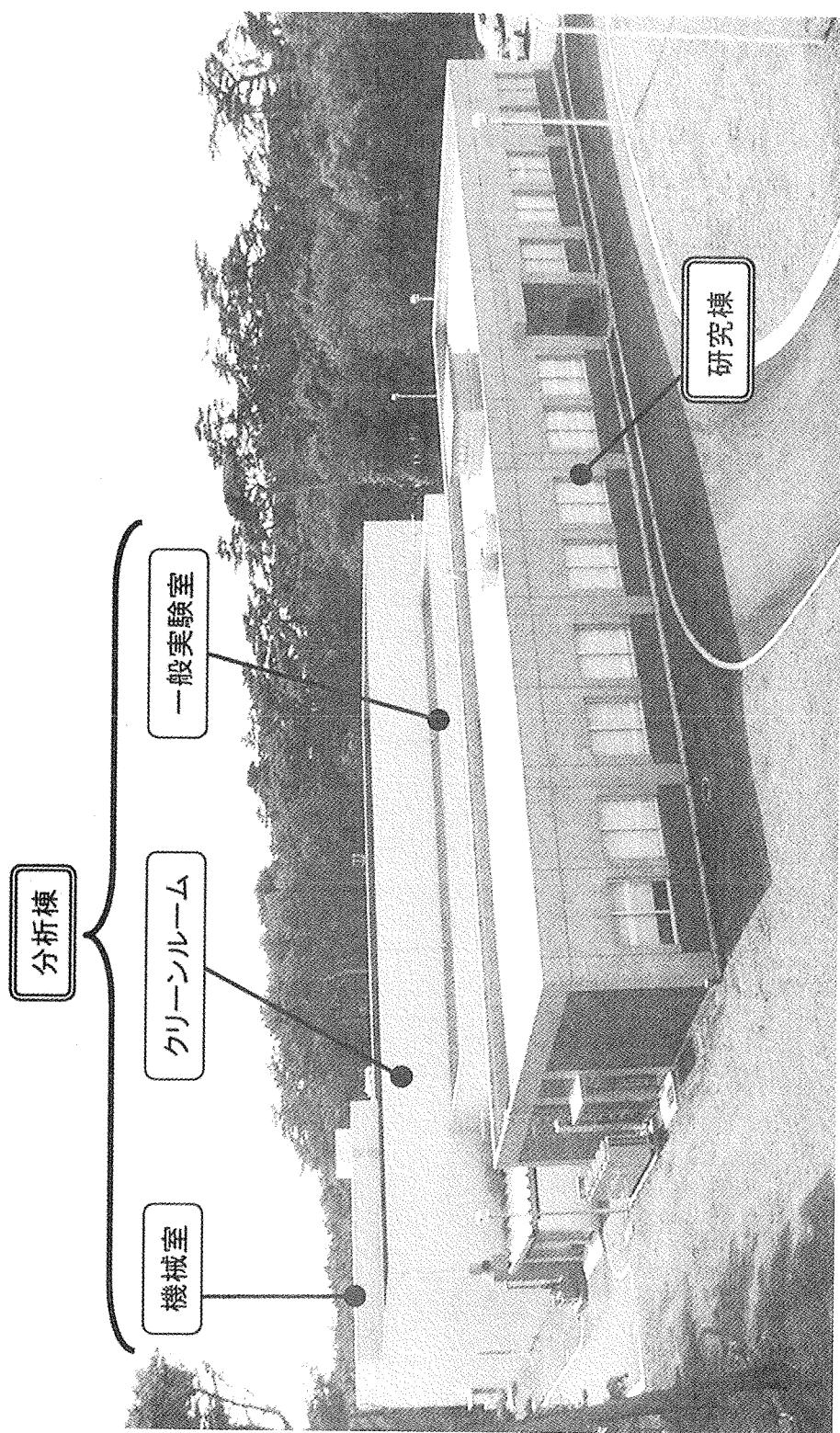


図2.1 CLEAR施設外観

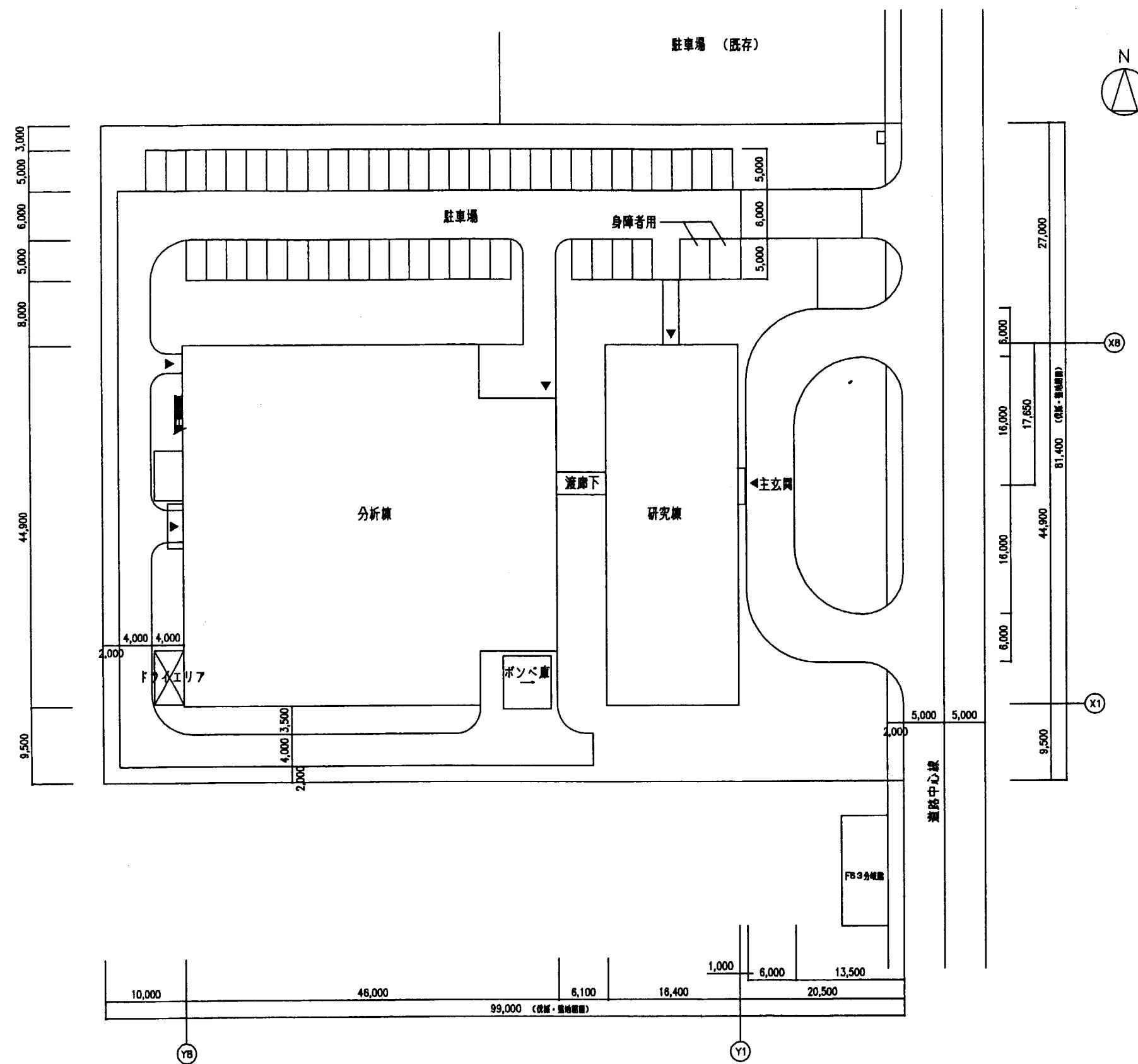


図2.2 CLEAR建家配置図

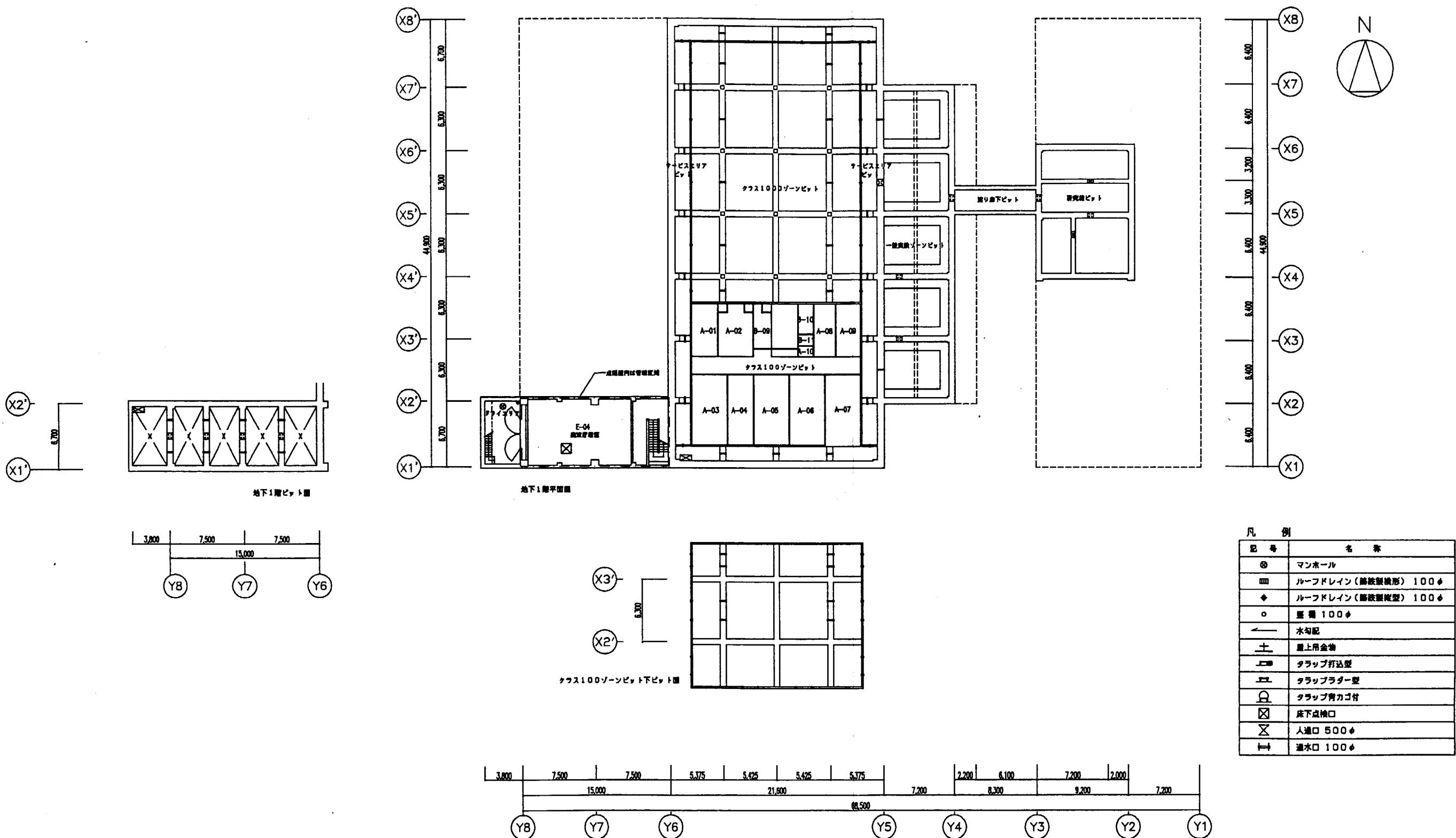


図2.3 CLEAR平面図 (a) 地下1階、ピット平面図

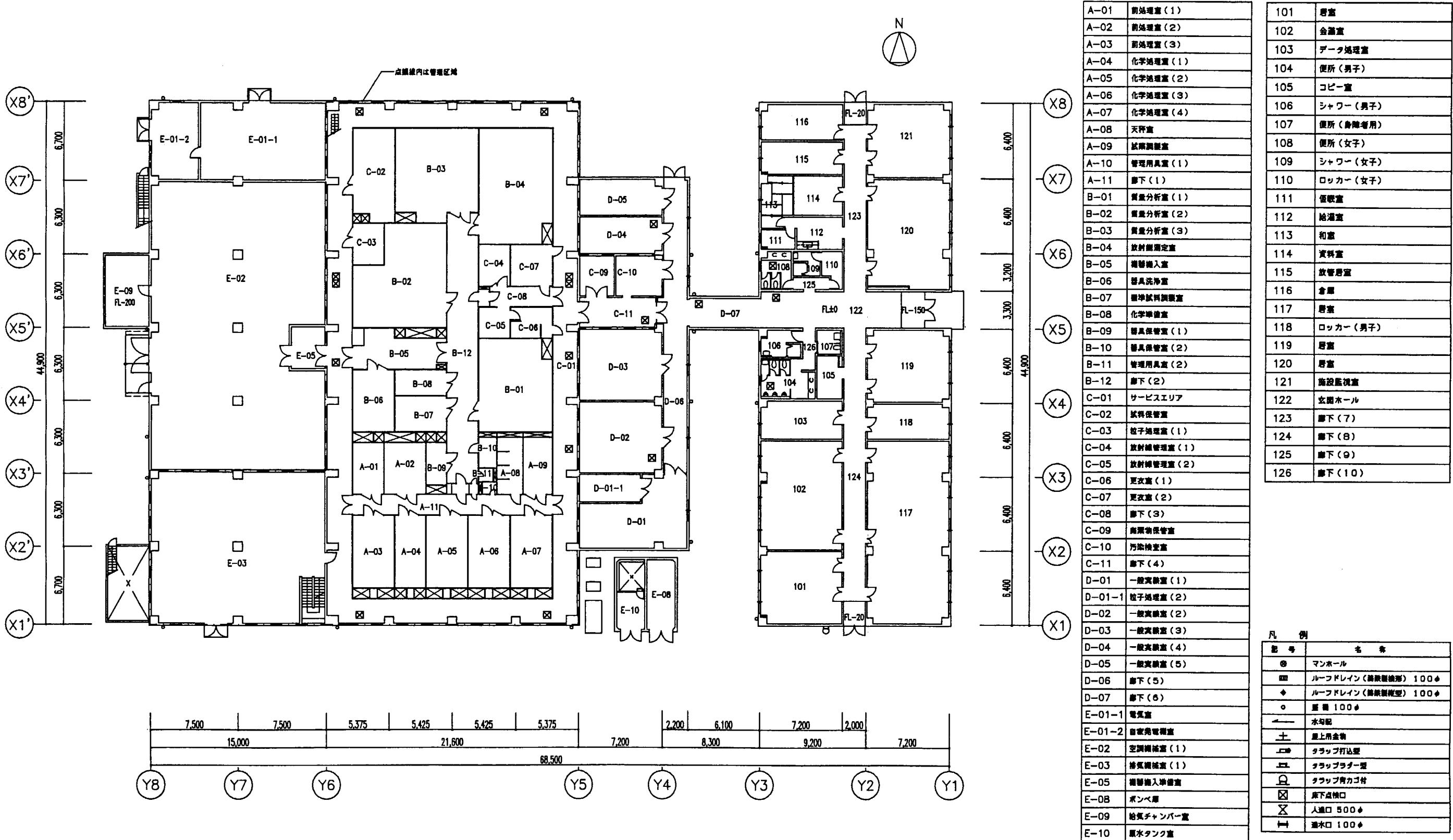


図2.3 CLEAR平面図 (b) 1階平面図

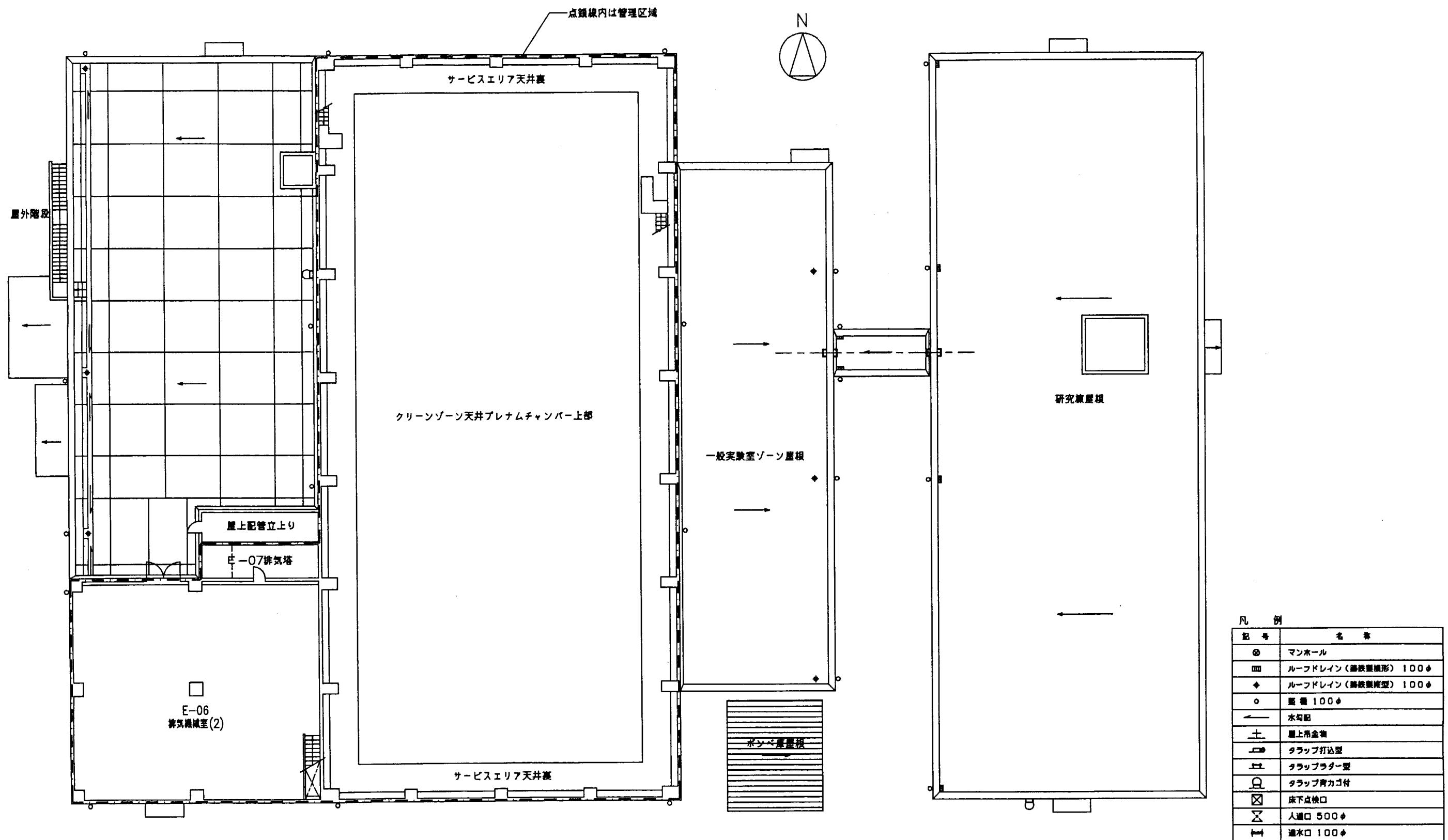
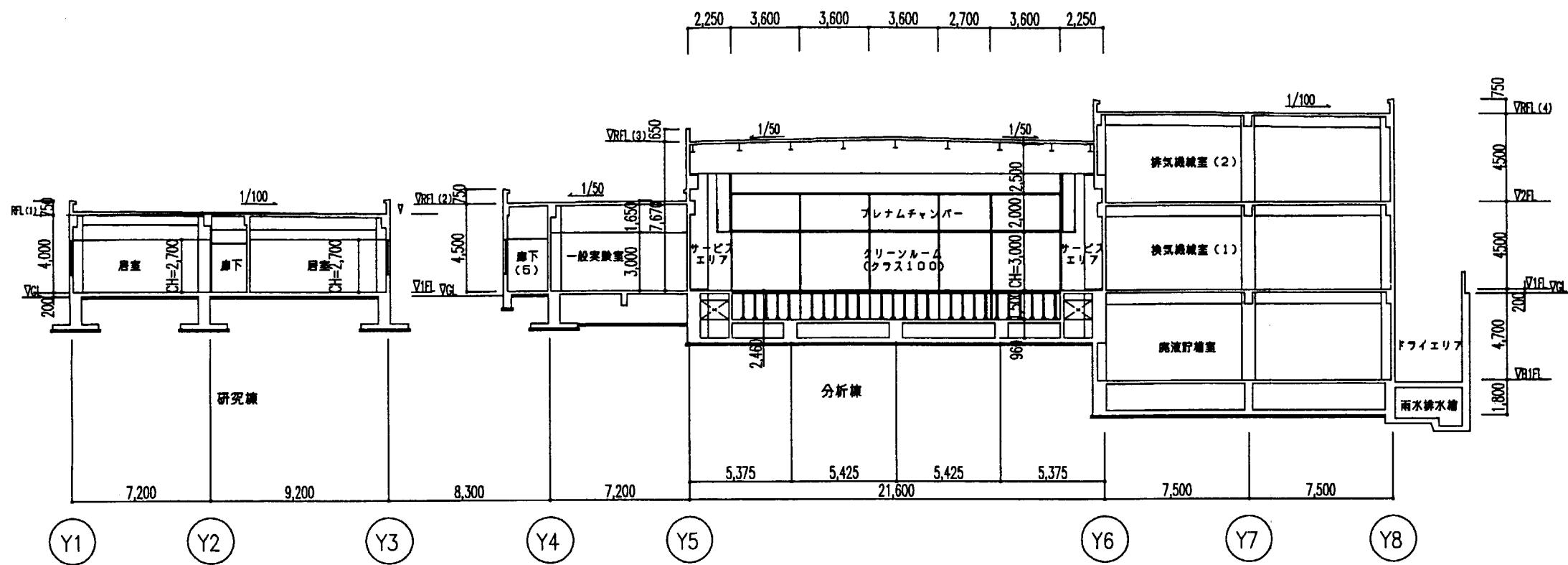


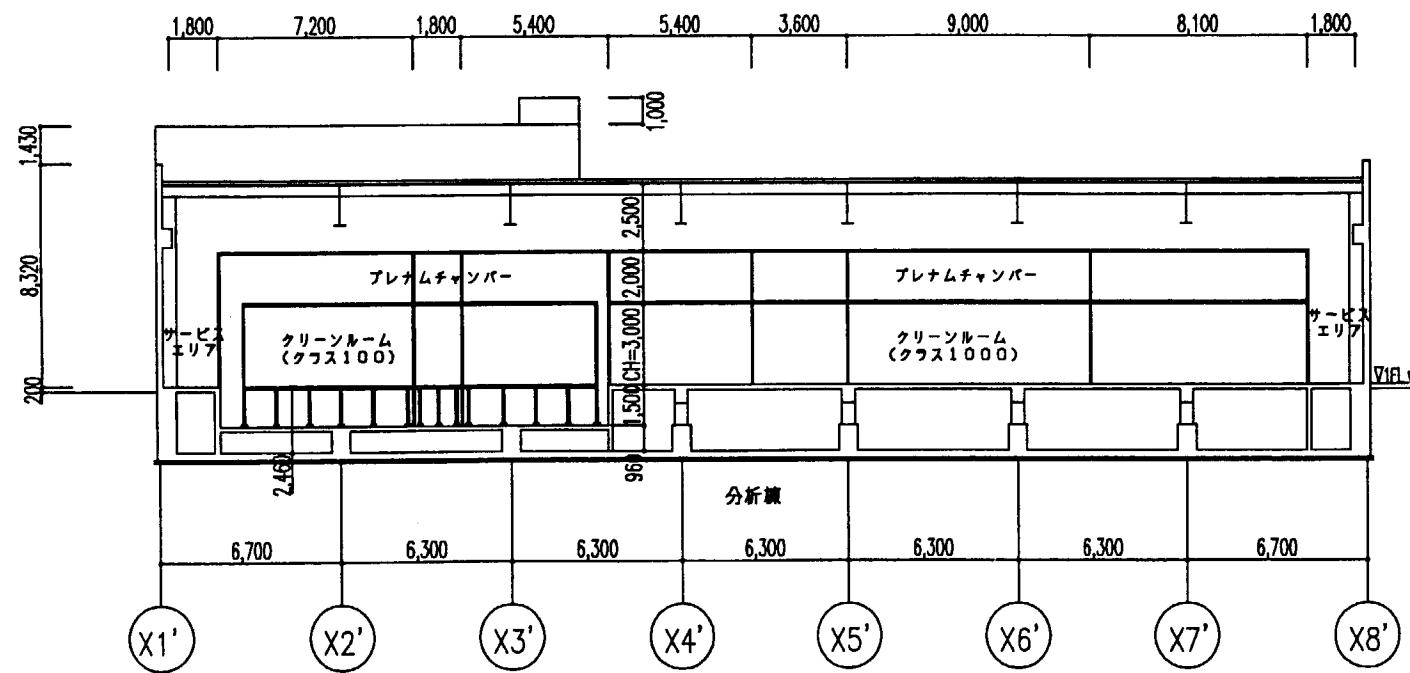
図2.3 CLEAR平面図 (c) 2階平面図



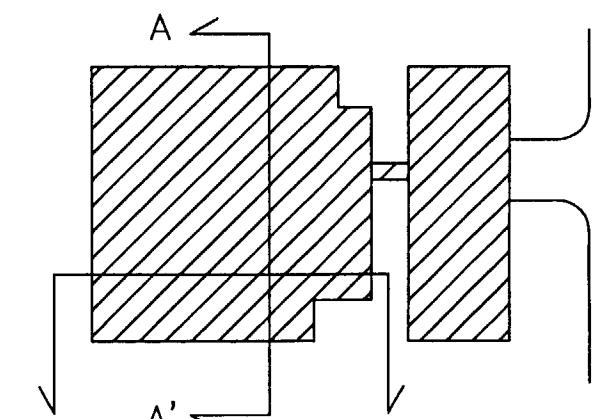
図2.4 CLEAR建家立面図



B-B'断面図



A-A'断面図



キープラン

図2.5 CLEAR建家断面図

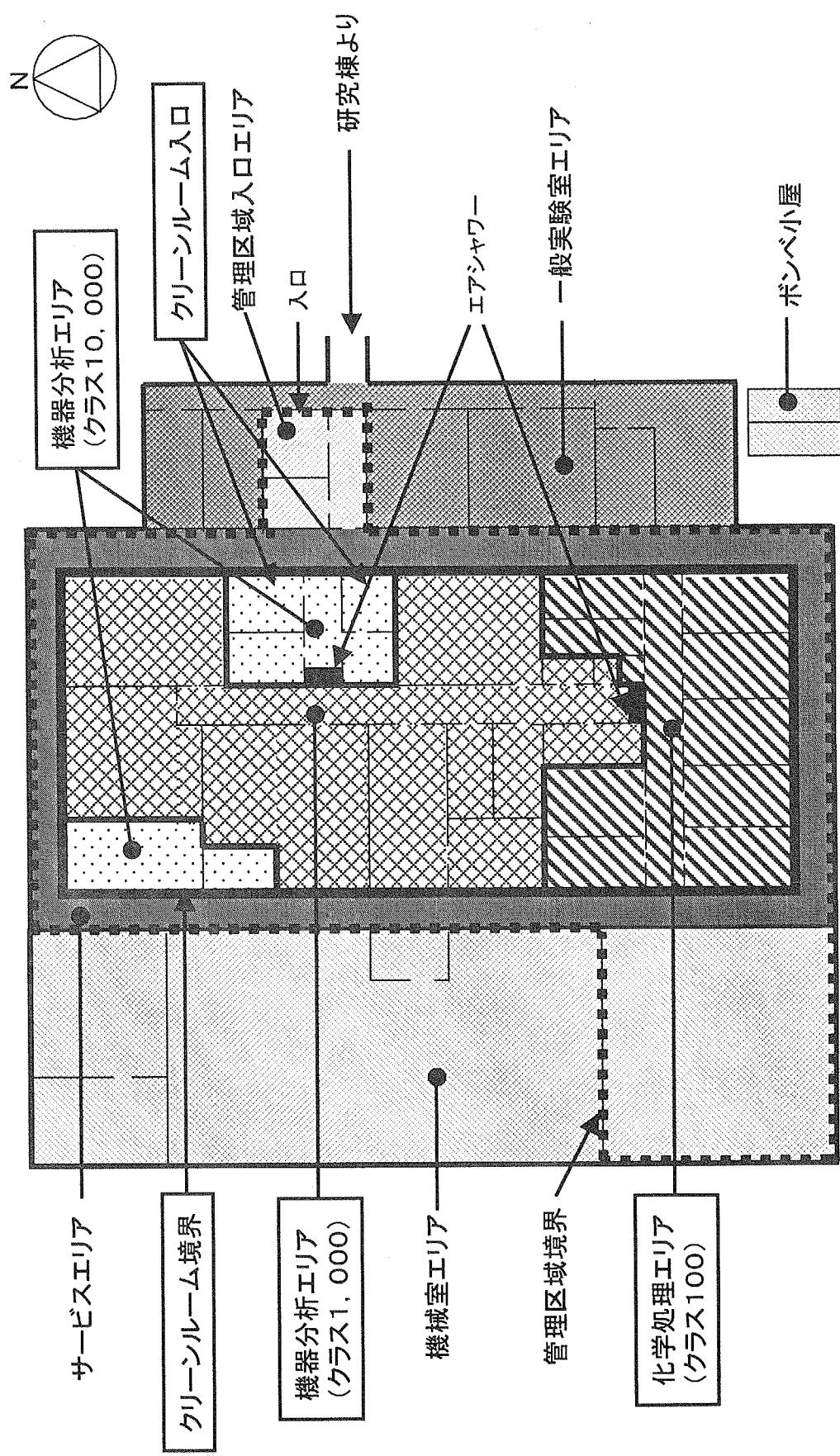
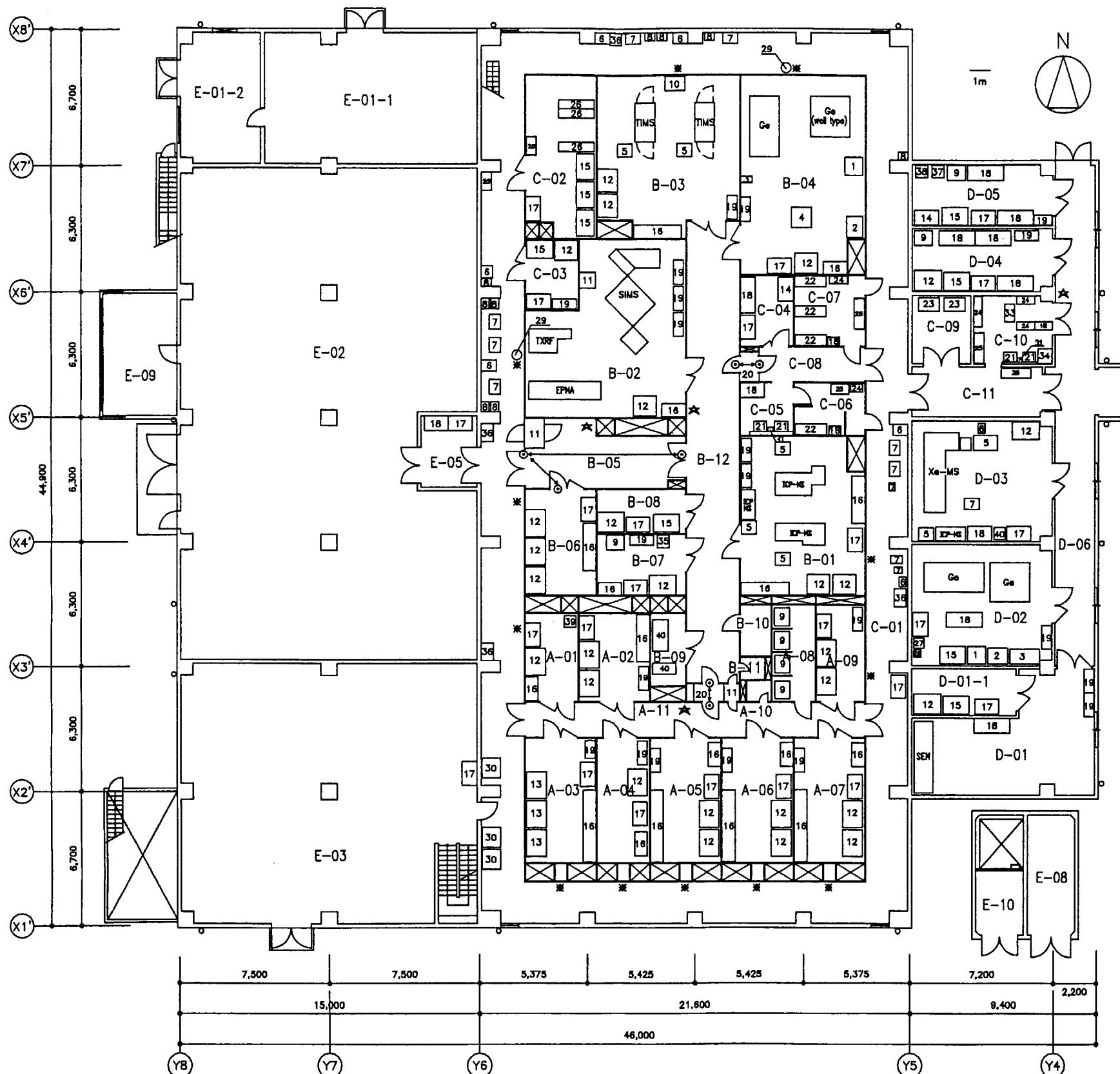


図2.6 分析棟エリア分け図

This is a blank page.



A-01	前処理室(1)
A-02	前処理室(2)
A-03	前処理室(3)
A-04	化学処理室(1)
A-05	化学処理室(2)
A-06	化学処理室(3)
A-07	化学処理室(4)
A-08	天秤室
A-09	試験調製室
A-10	管理用具室(1)
A-11	廊下(1)
B-01	質量分析室(1)
B-02	質量分析室(2)
B-03	質量分析室(3)
B-04	放射能測定室
B-05	機器搬入室
B-06	器具洗浄室
B-07	標準試料調製室
B-08	化学準備室
B-09	器具保管室(1)
B-10	器具保管室(2)
B-11	管理用具室(2)
B-12	廊下(2)
C-01	サービスエリア
C-02	試料保管室
C-03	粒子処理室(1)
C-04	放射線管理室(1)
C-05	放射線管理室(2)
C-06	更衣室(女子)
C-07	更衣室(男子)
C-08	廊下(3)
C-09	廃棄物保管室
C-10	汚染検査室
C-11	廊下(4)
D-01	一般実験室(1)
D-02	粒子処理室(2)
D-03	一般実験室(2)
D-04	一般実験室(3)
D-05	一般実験室(4)
D-06	廊下(5)
D-07	廊下(6)
E-01-1	電気室
E-01-2	自家発電機室
E-02	空調機械室
E-03	排気機械室(1)
E-05	機器搬入準備室
E-08	ポンベ庫
E-09	給気チャンバー室
E-10	原水タンク室

図2.7 分析棟機器配置図

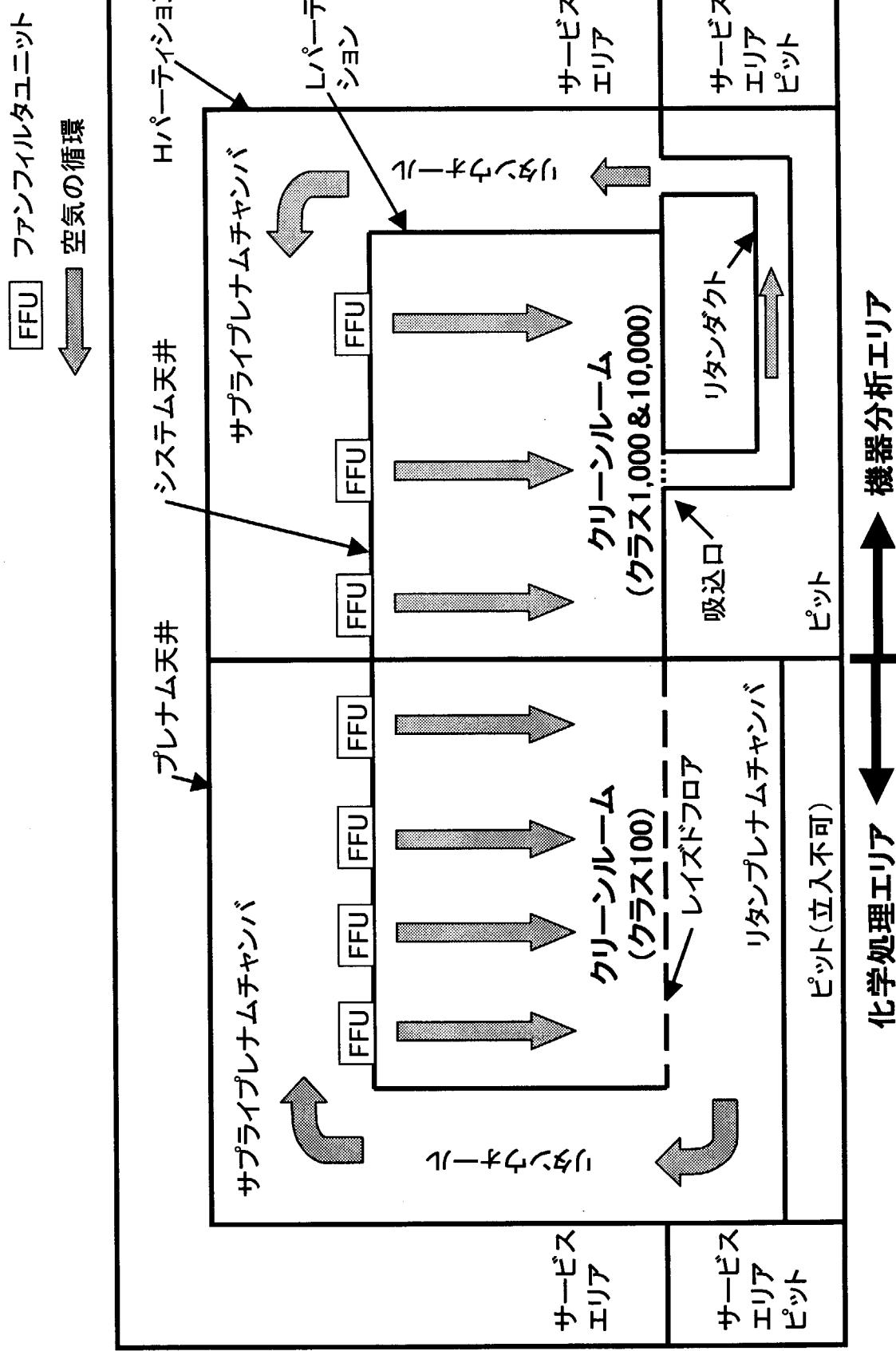




図2.9 クリーンルーム 化学処理エリアの室内の一例 (A-06)

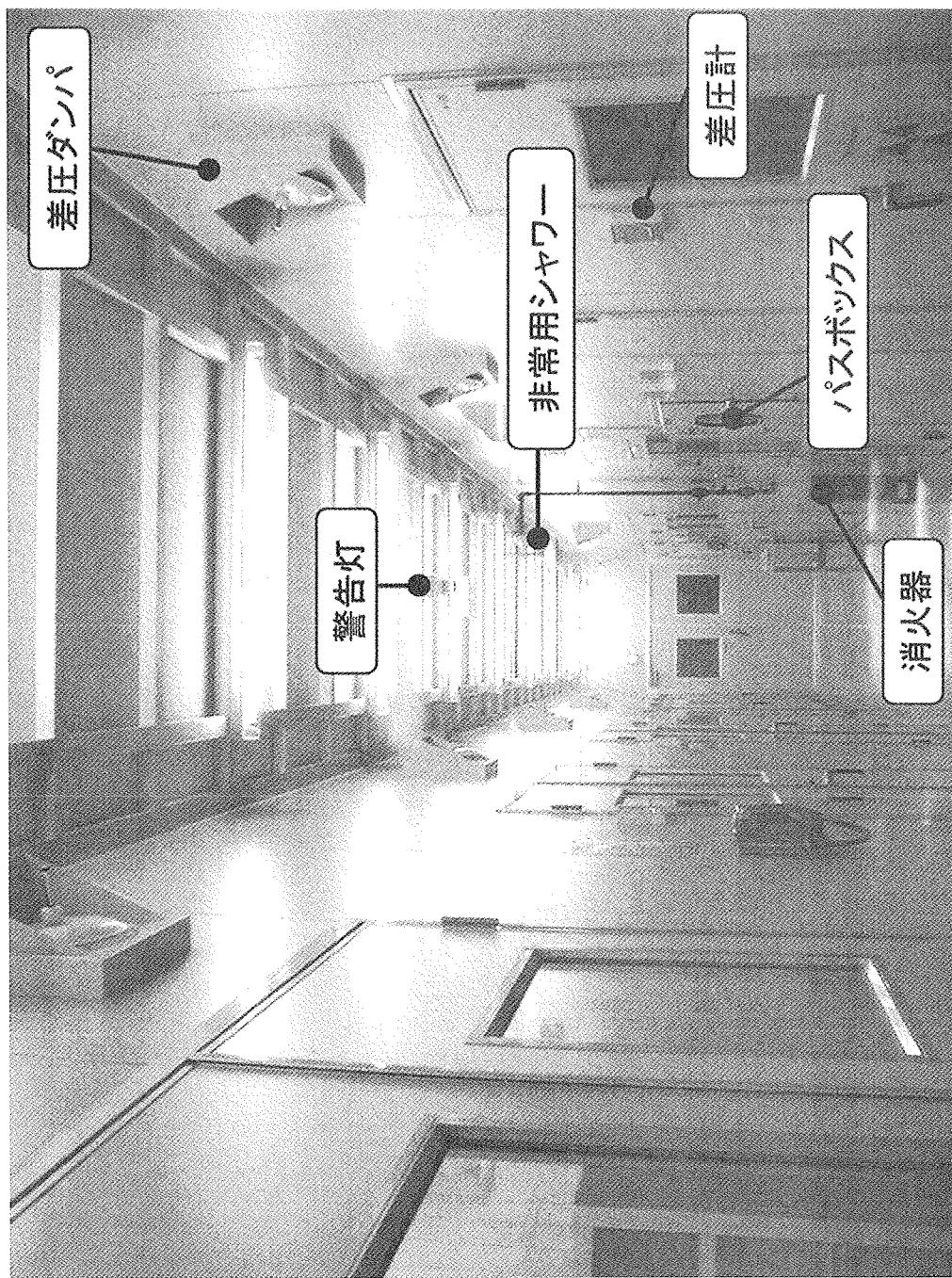


図2.10 クリーンルーム 化学処理工場の廊下の様子 (A-11)

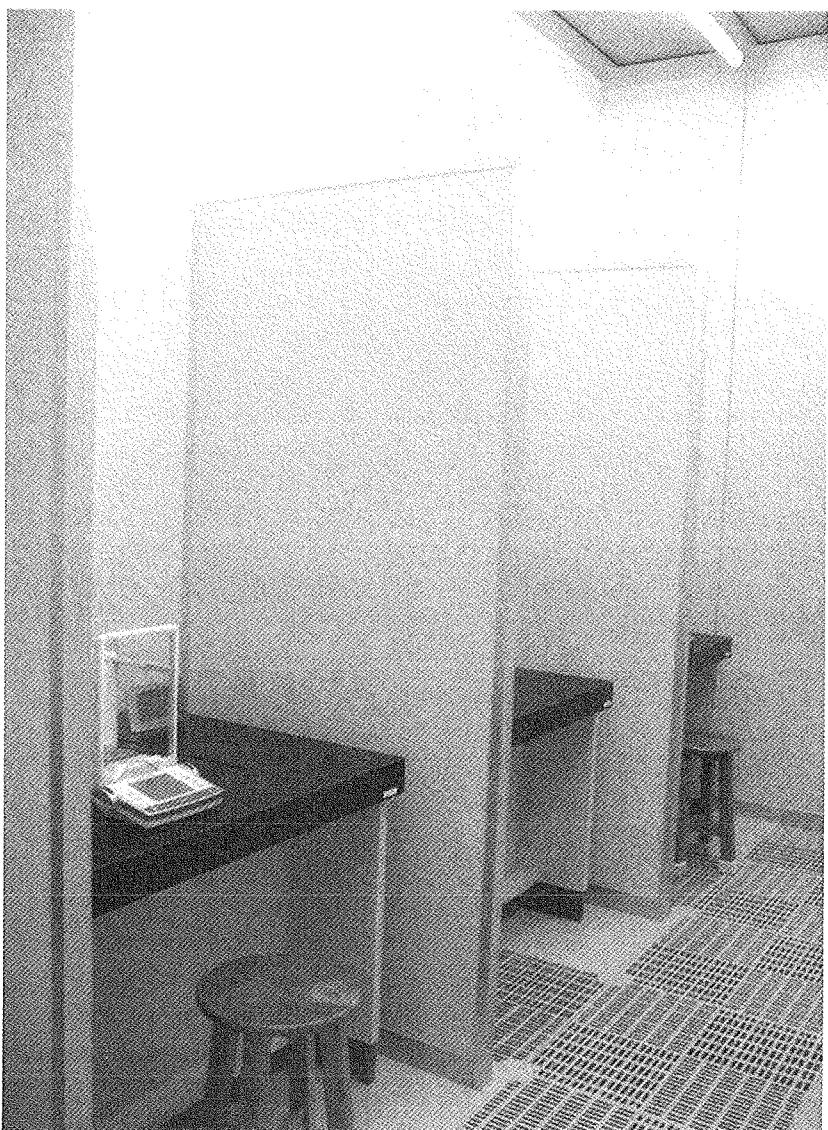


図2.11 クリーンルーム 天秤室 (A-08)

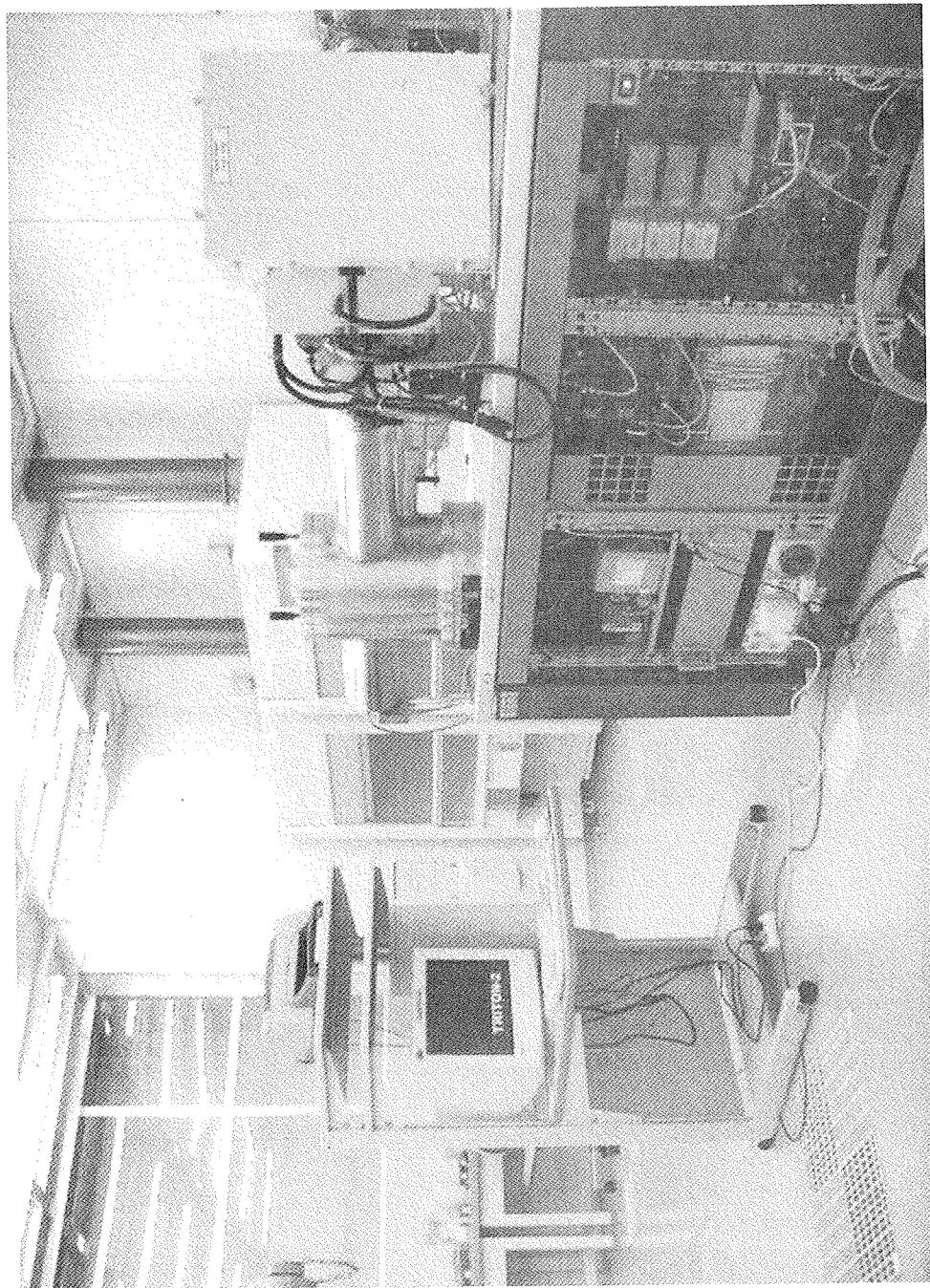


図2.12 クリーンルーム 機器分析エリアの室内の一例 (B-03)

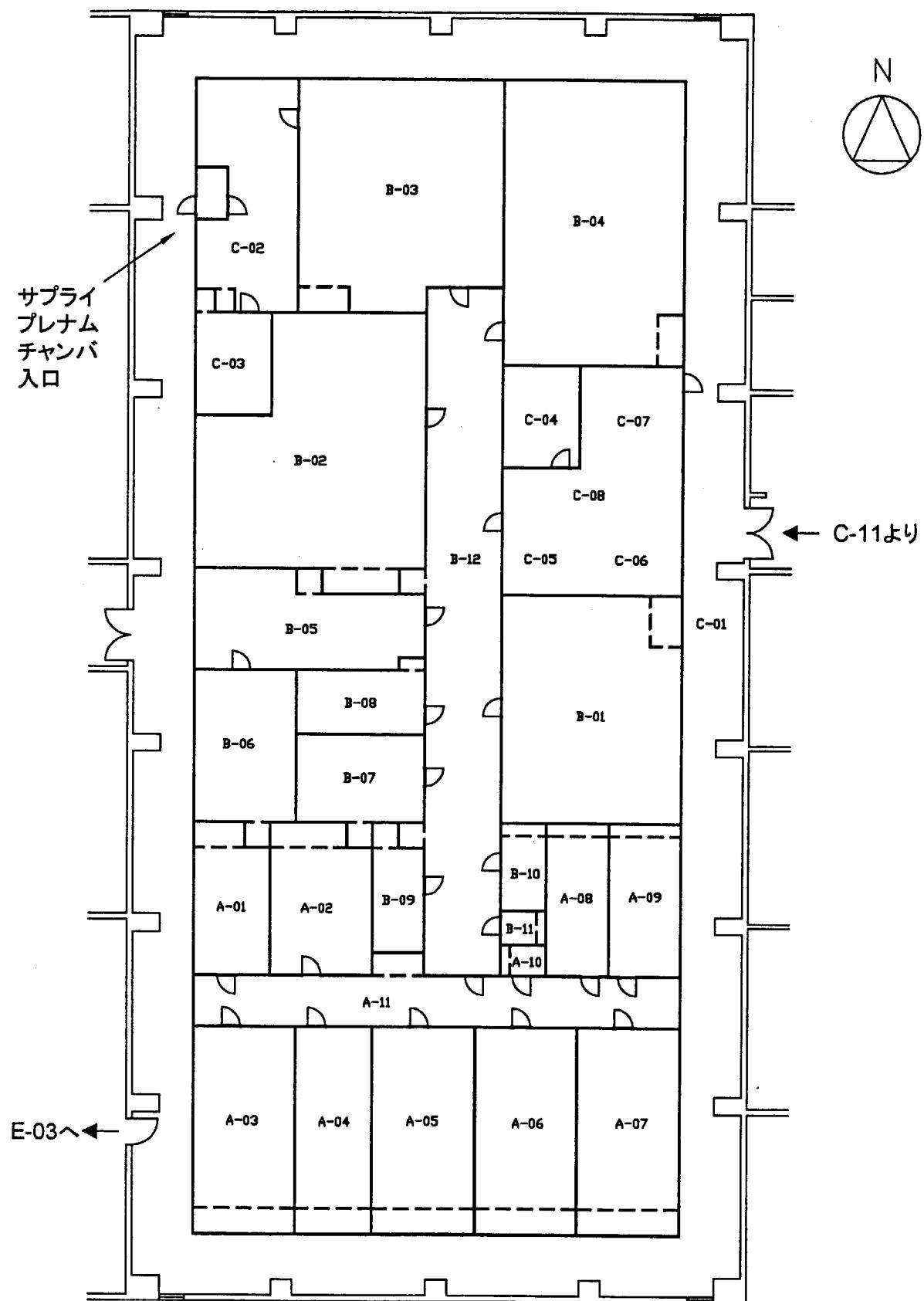


図2.13 サプライプレナムチャンバ平面図

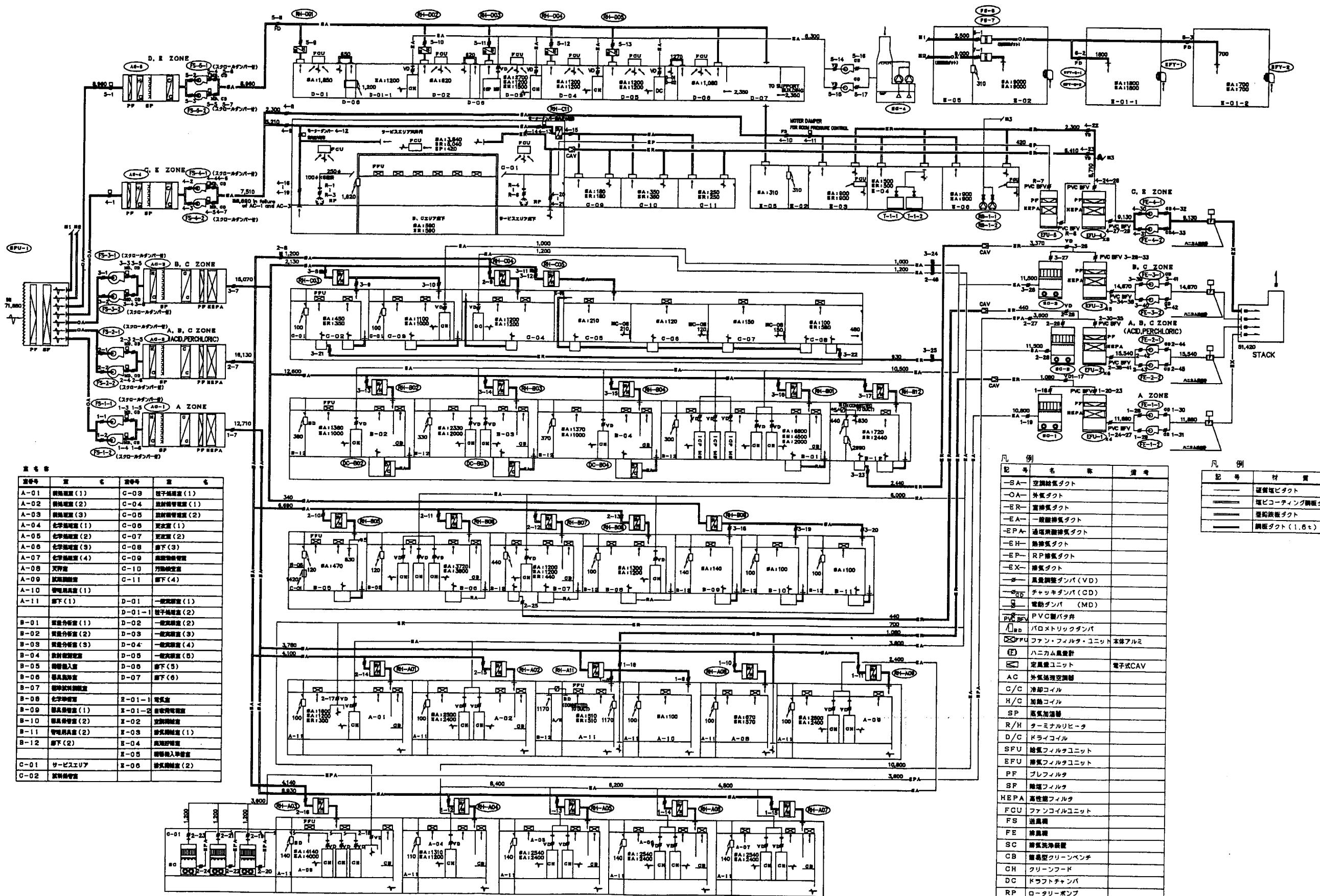


図3.1 分析棟 給排気系統図

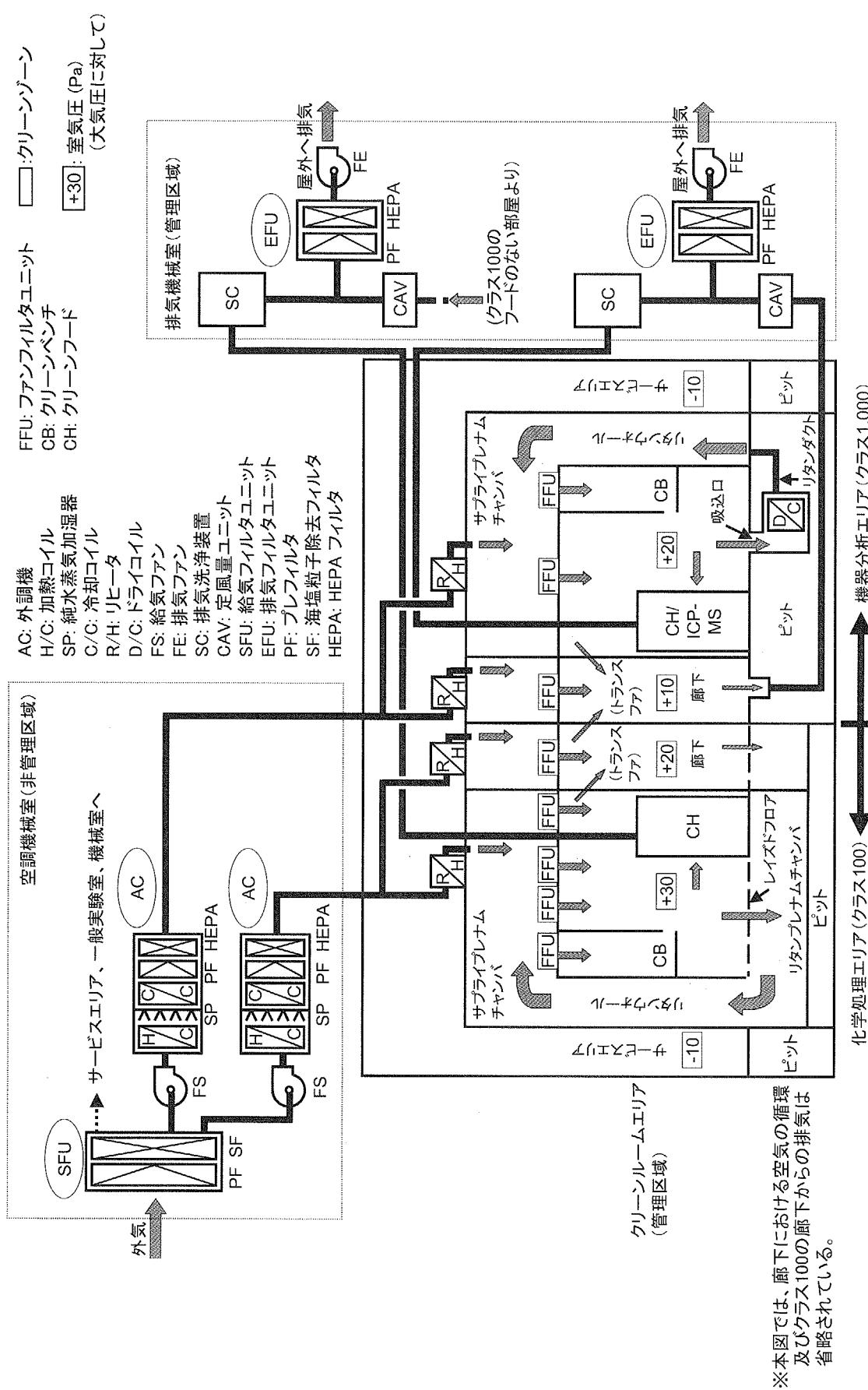


図3.2 クリーンルームの空調及び空気清浄化設備の概念図

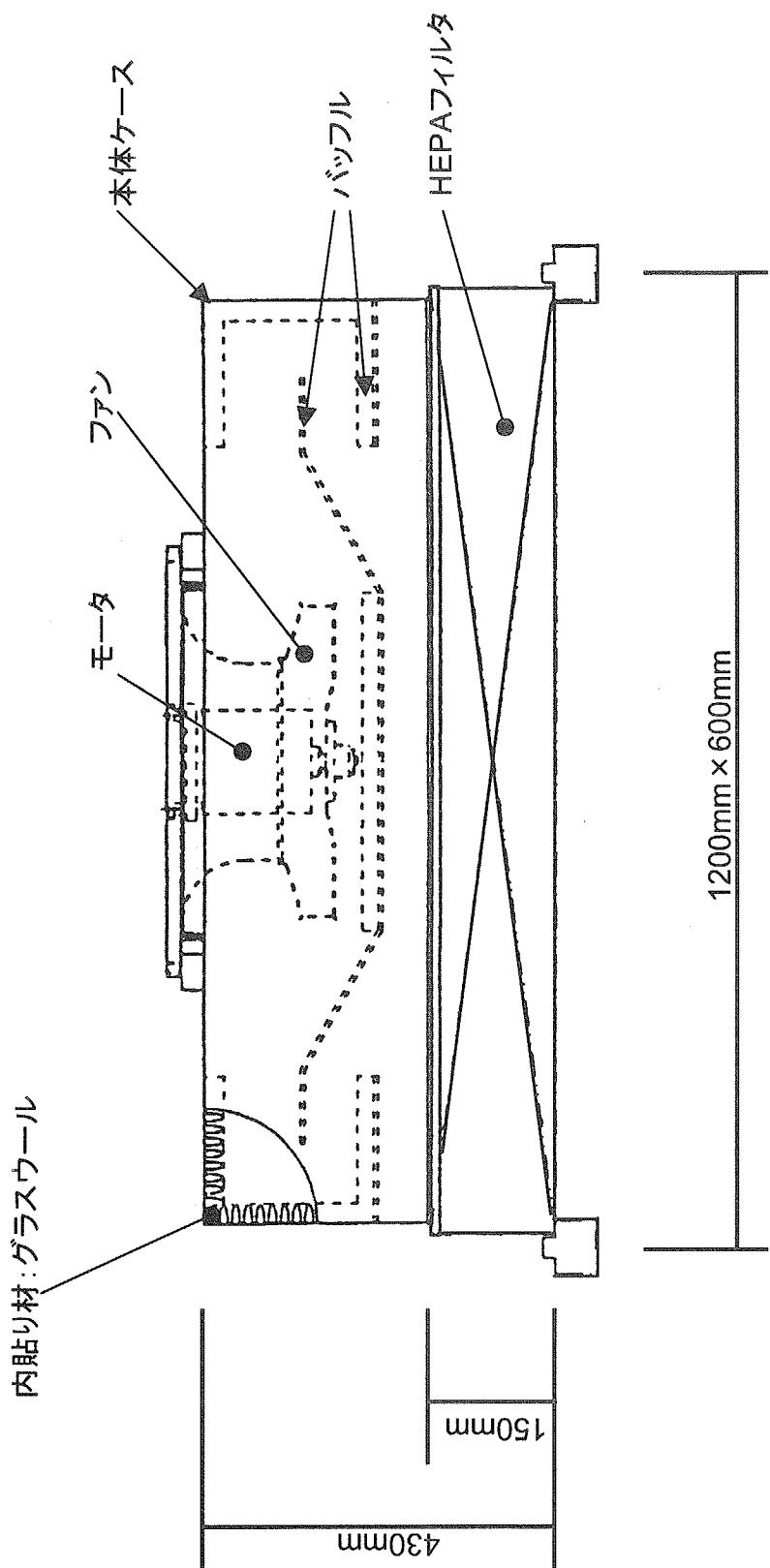


図3.3 ファンフィルタユニット(FFU) 図

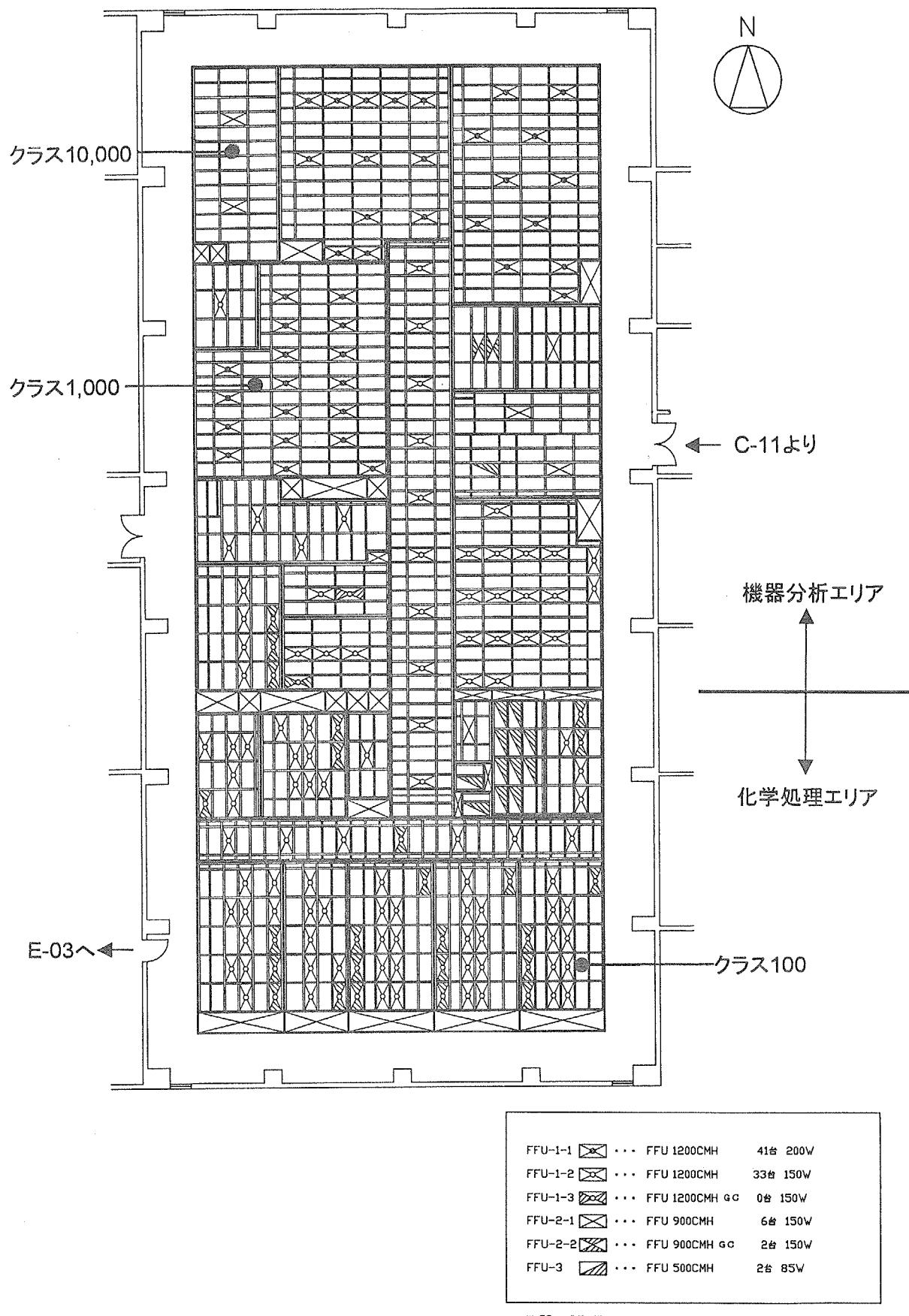


図3.4 クリーンルーム システム天井伏図

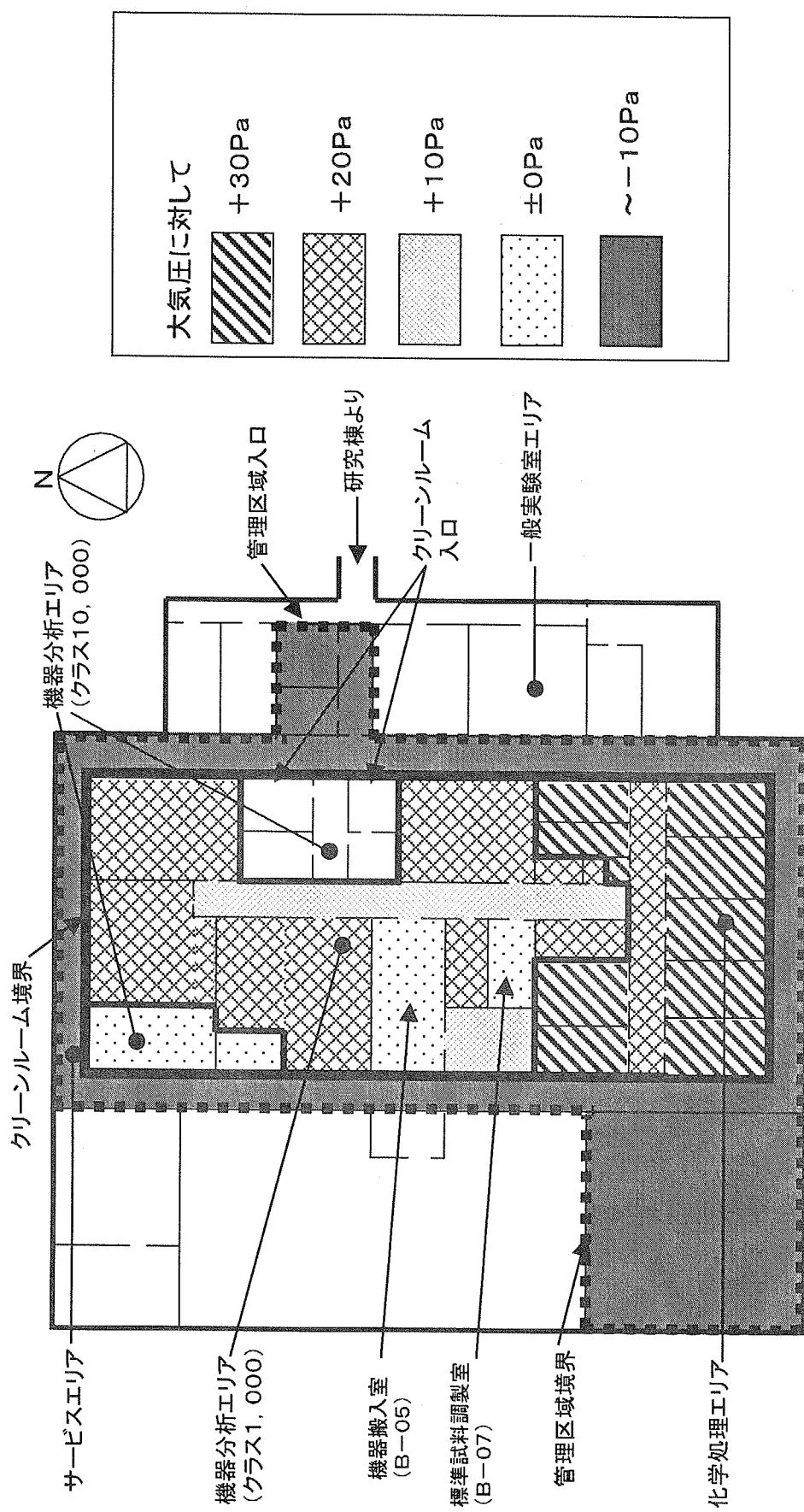


図3.5 分析棟 室圧設定図

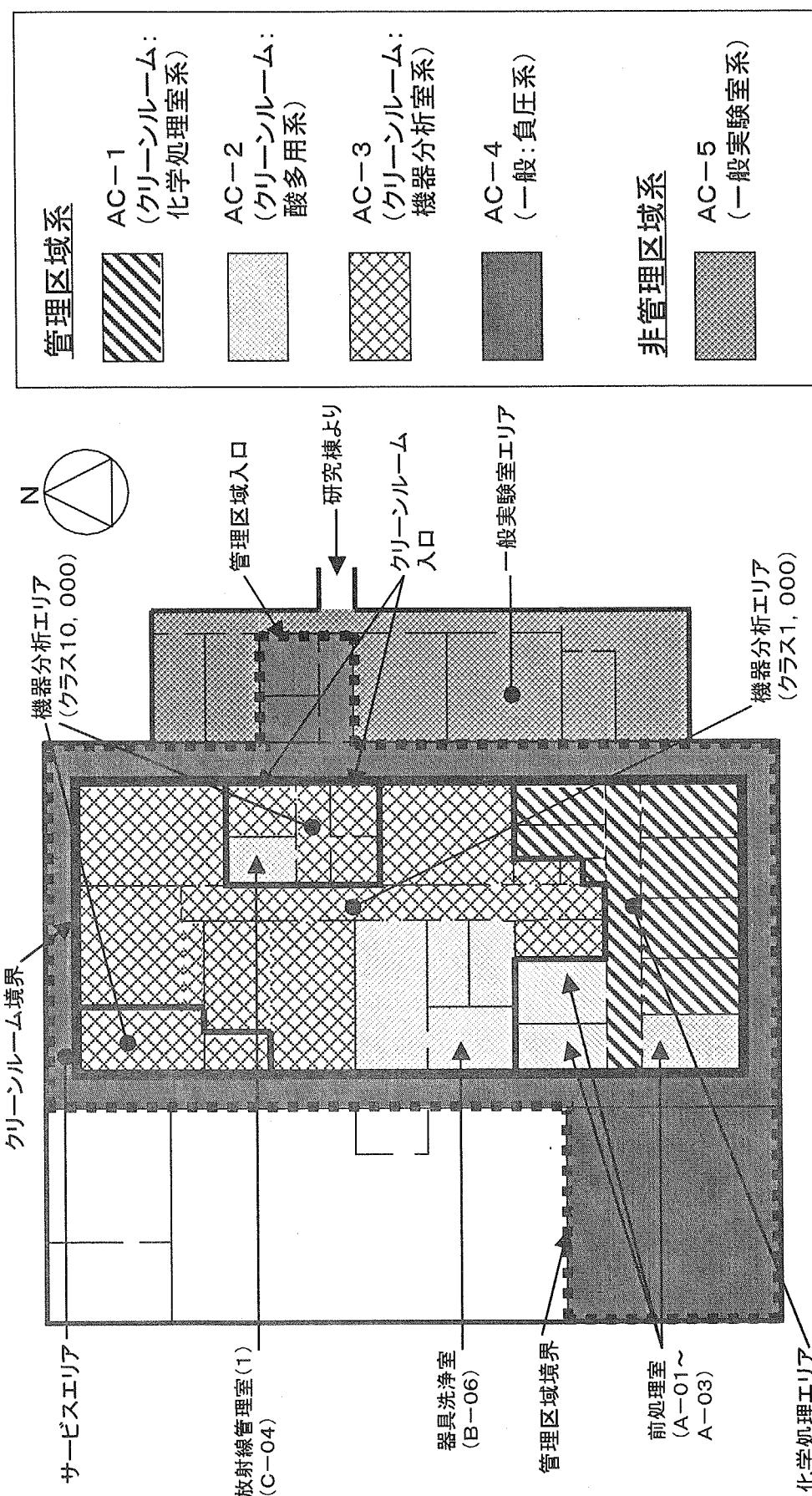


図3.6 分析棟 給排気系統エリア分け図

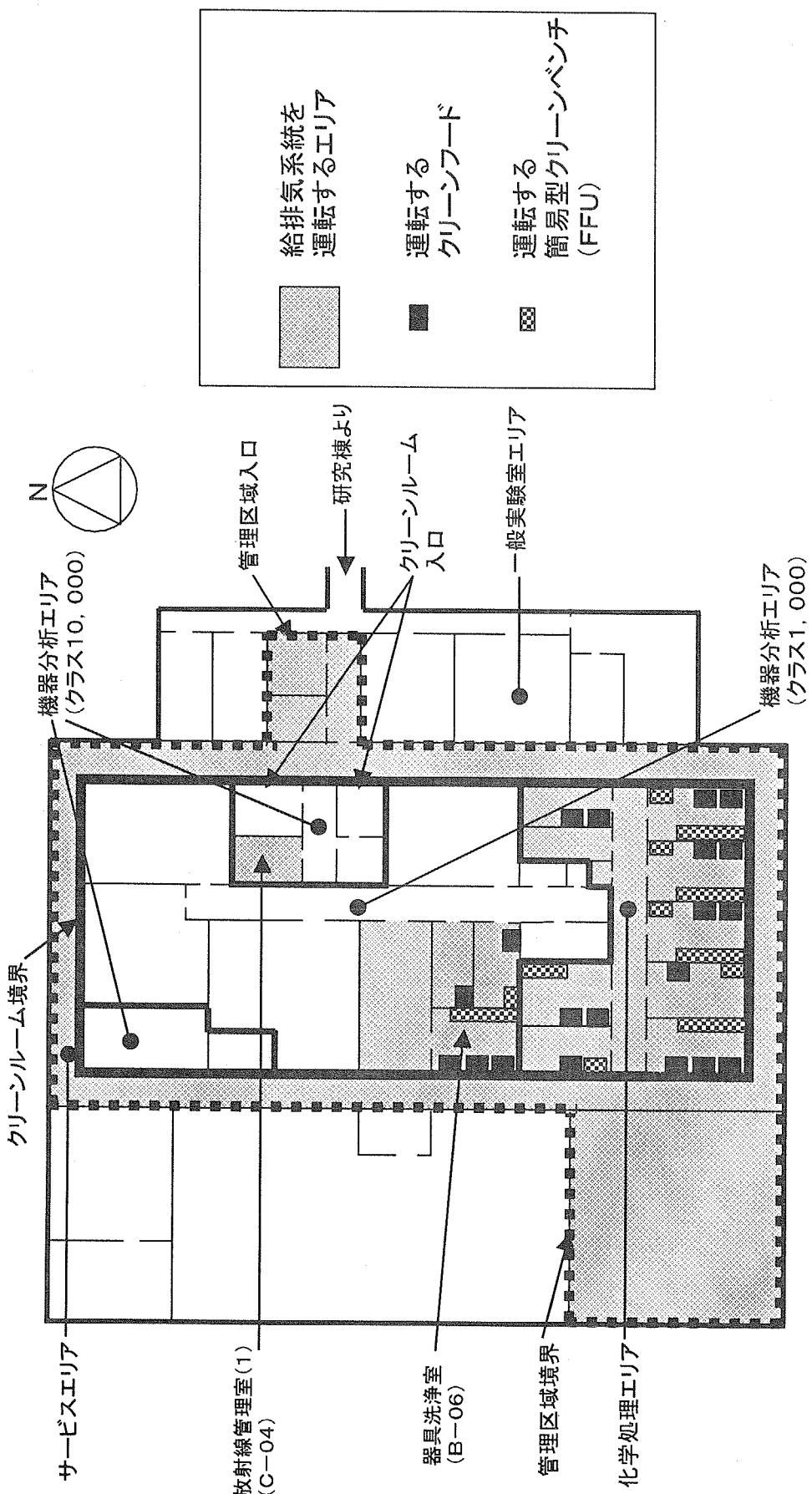


図3.7 分析棟 非常用電源系 (EG系) による運転範囲図

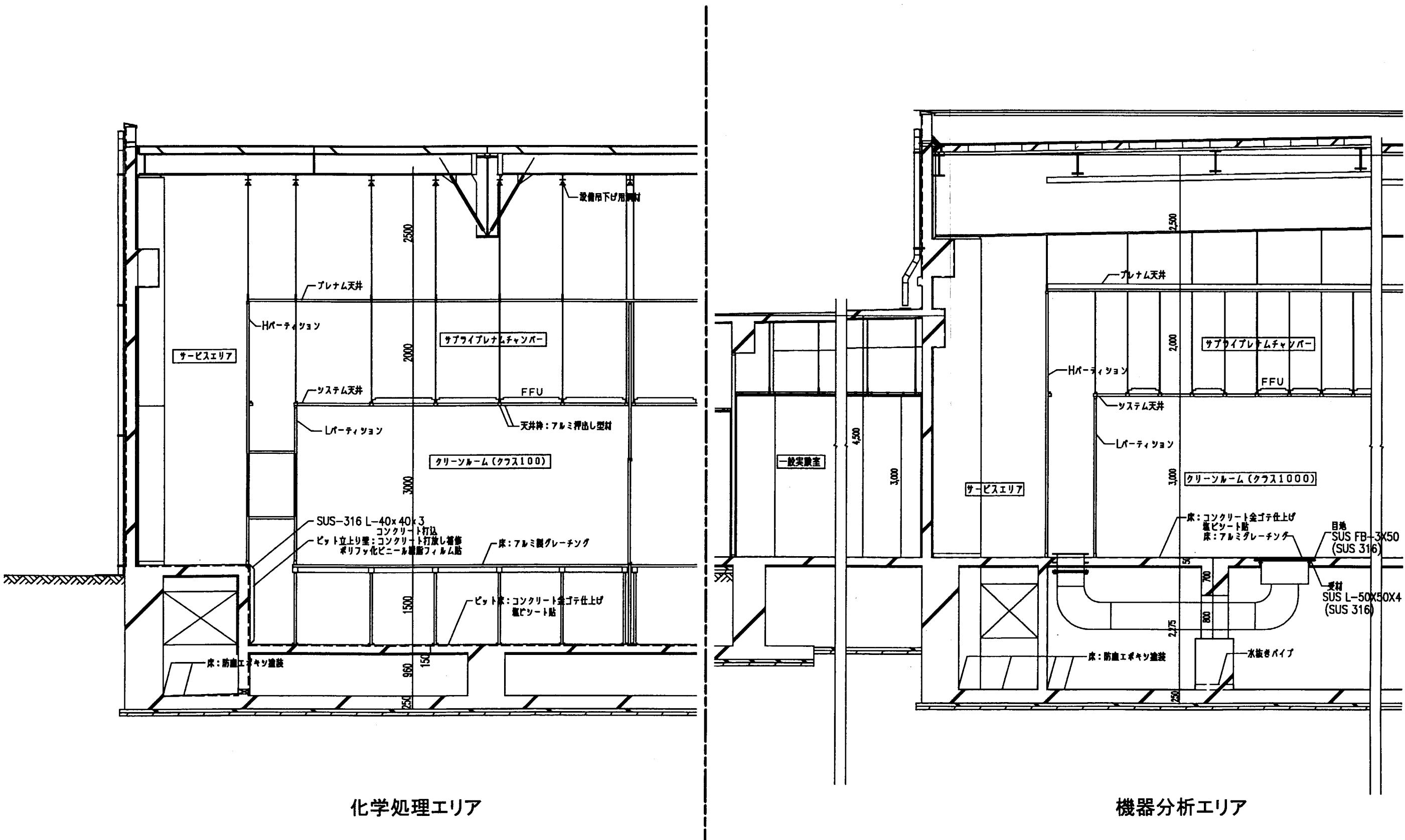


図4.1 クリーンルーム詳細断面図（建築工事）

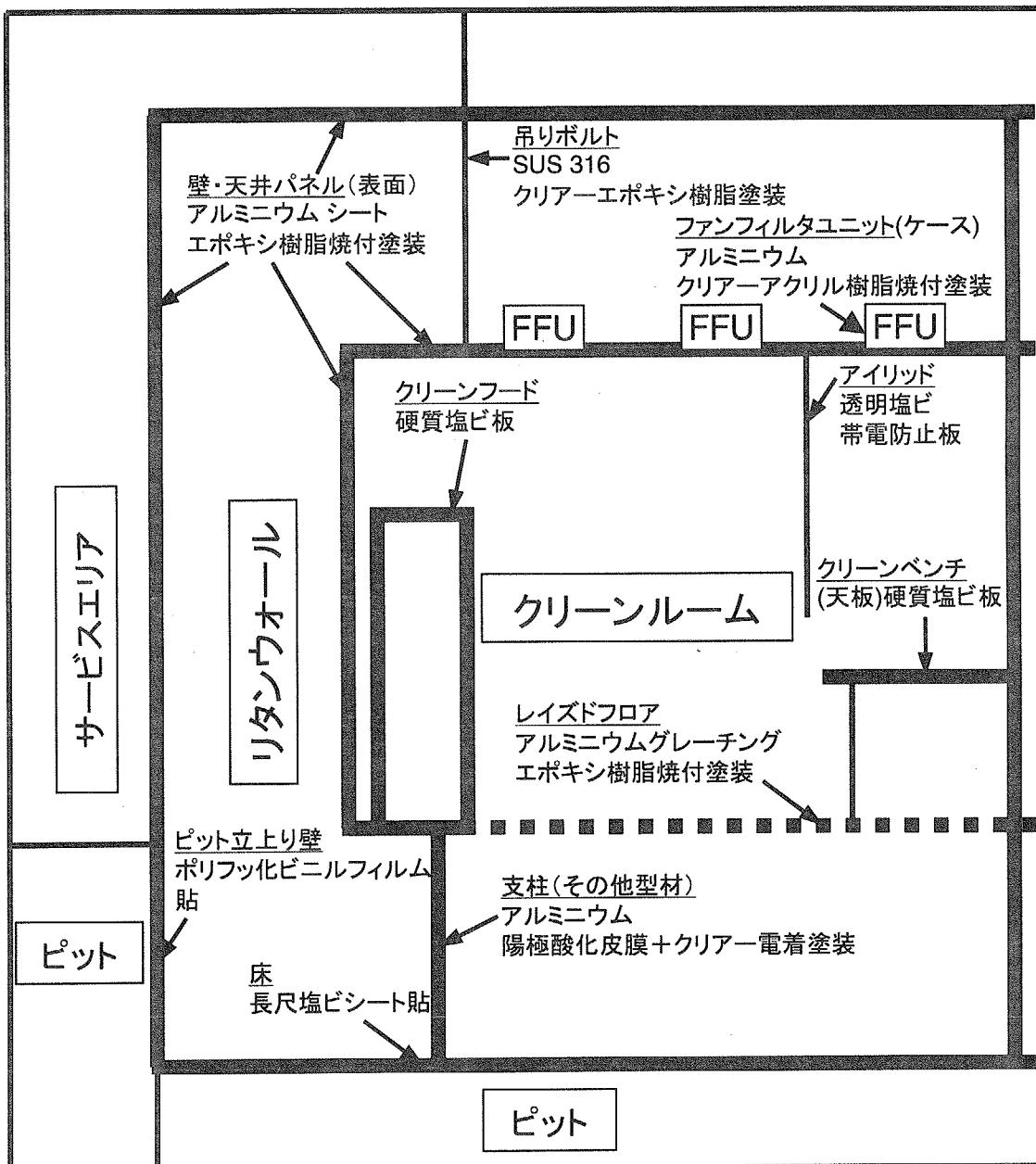


図4.2 クリーンルーム化学処理エリア断面模式図

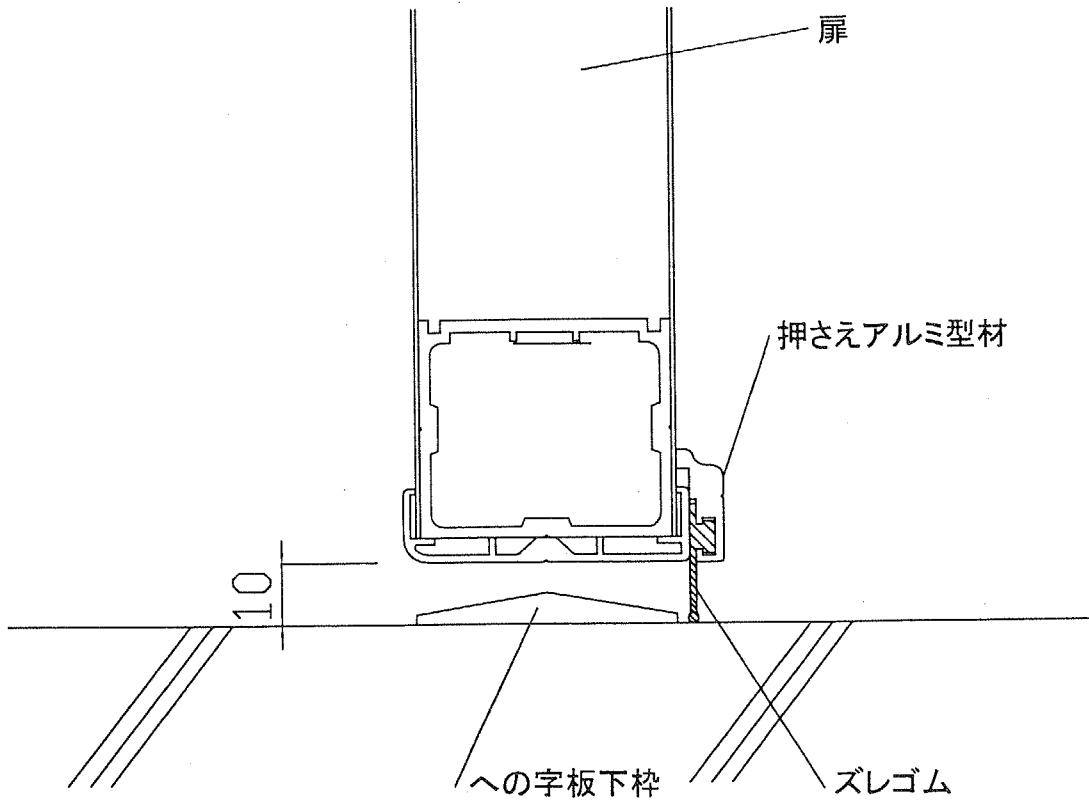


図 4.3 クリーンルーム三方枠扉下部收まり詳細図

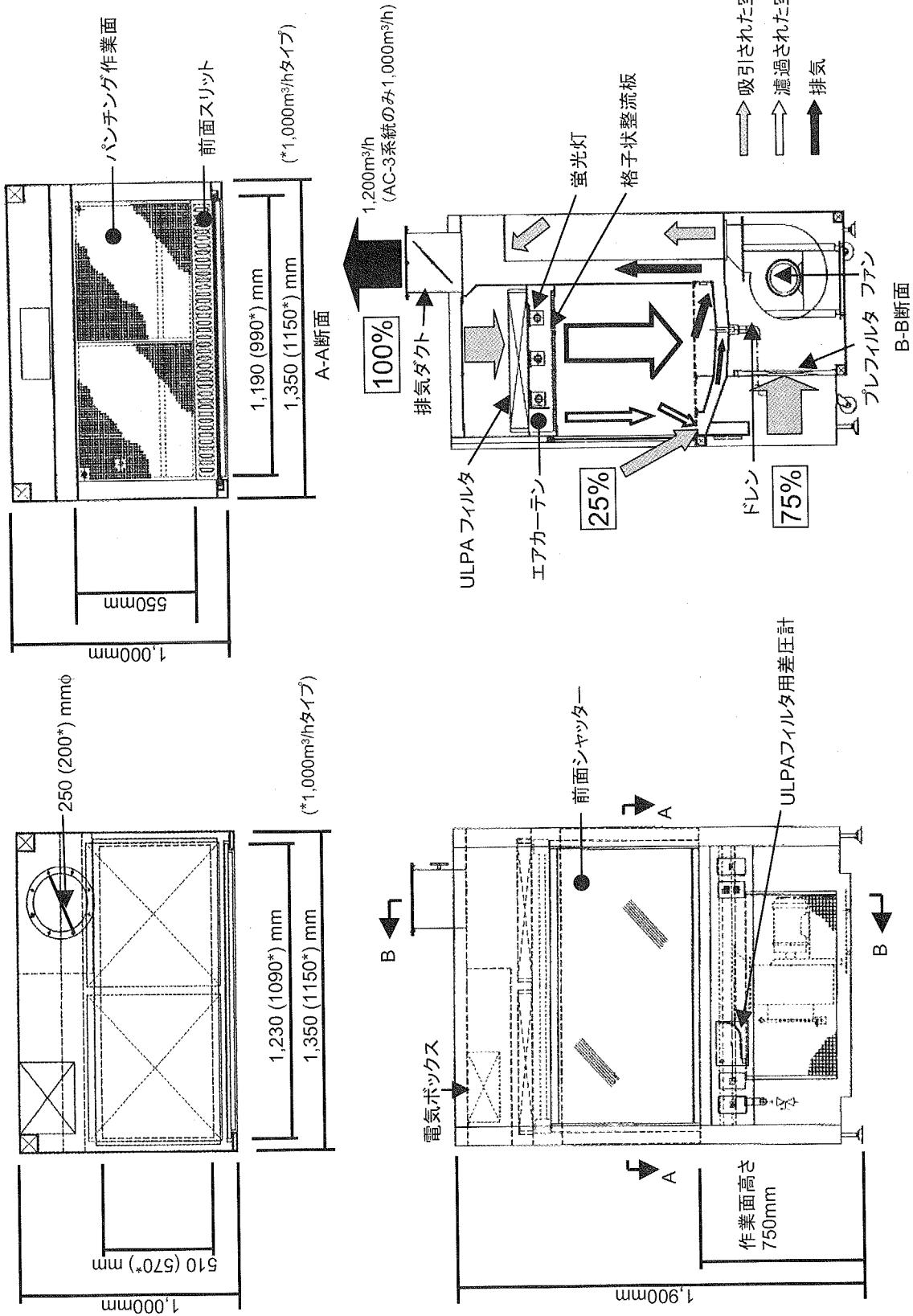


図5.1 汎用クリーンフード

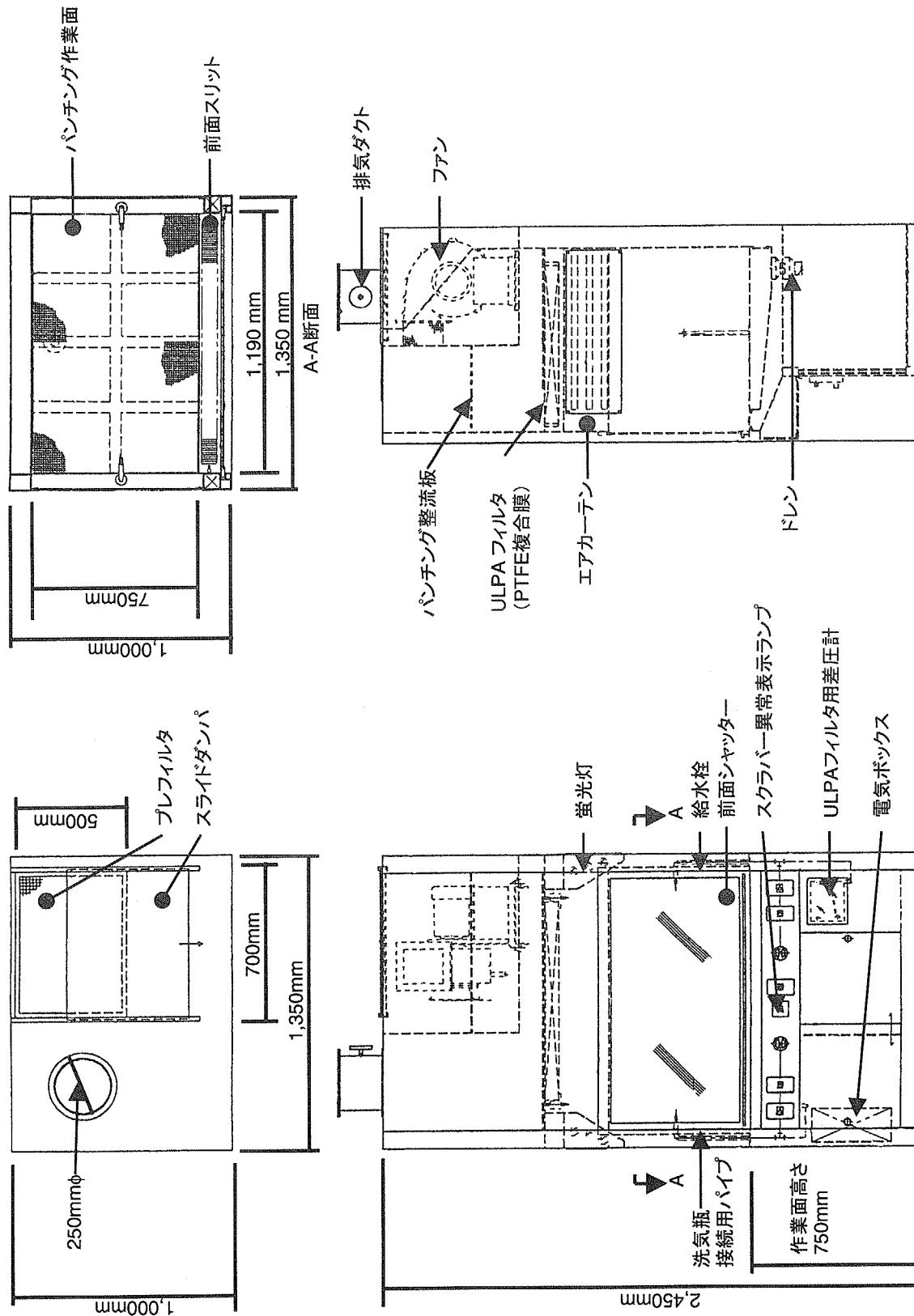


図5.2 過塩素酸用クリーンフレード

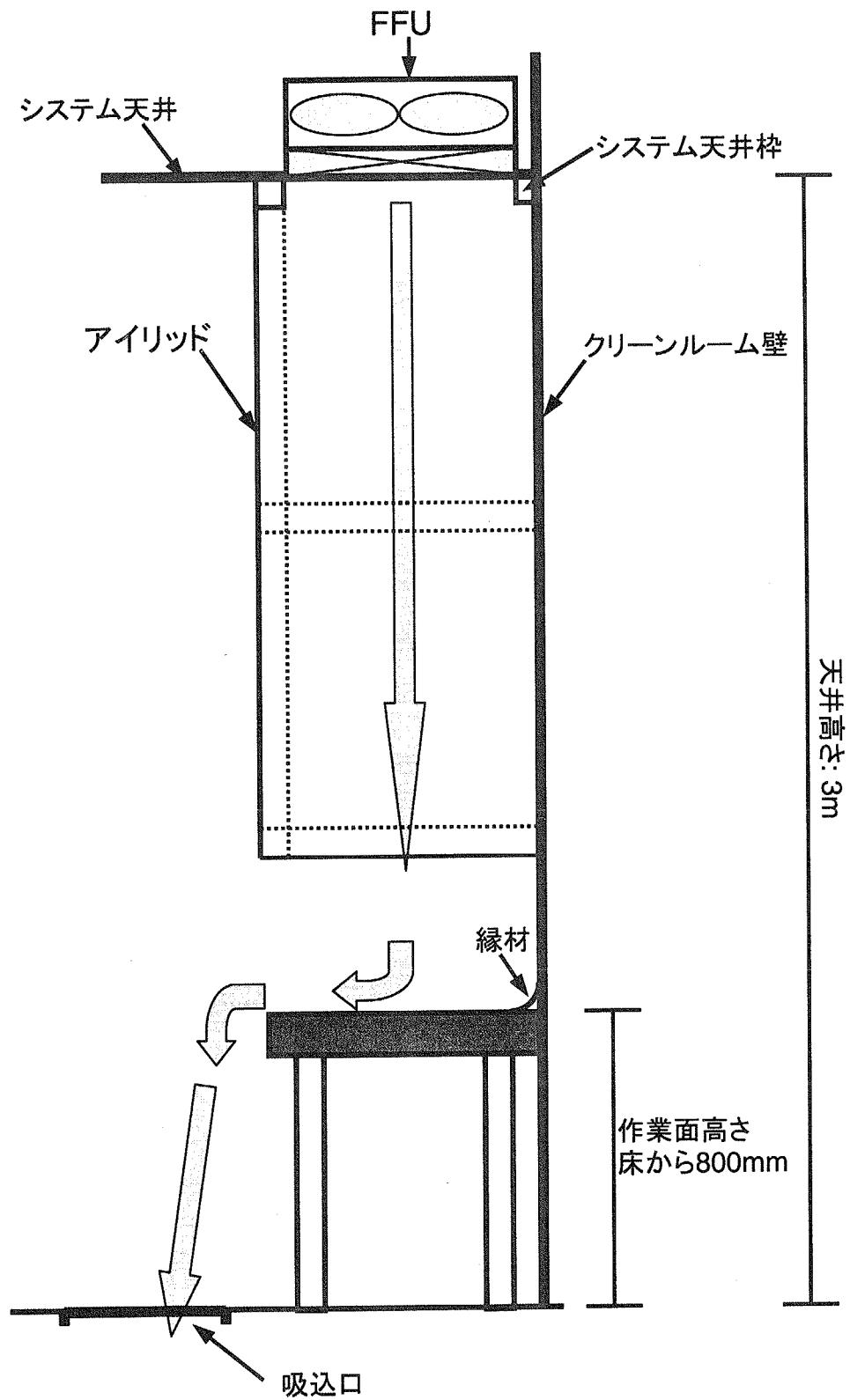


図5.3 簡易型クリーンベンチ概念図

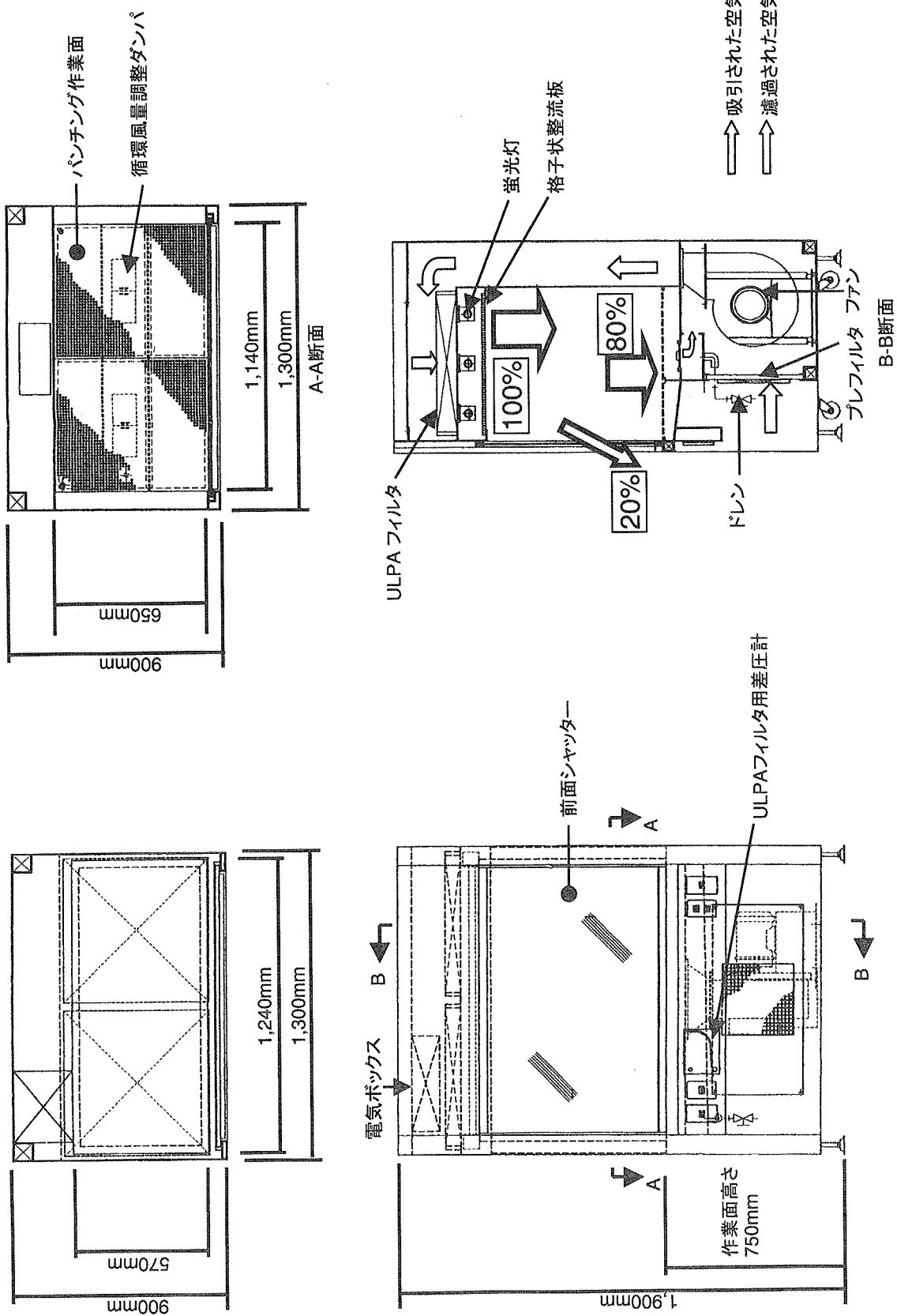


図5.4 循環型クリーンベンチ

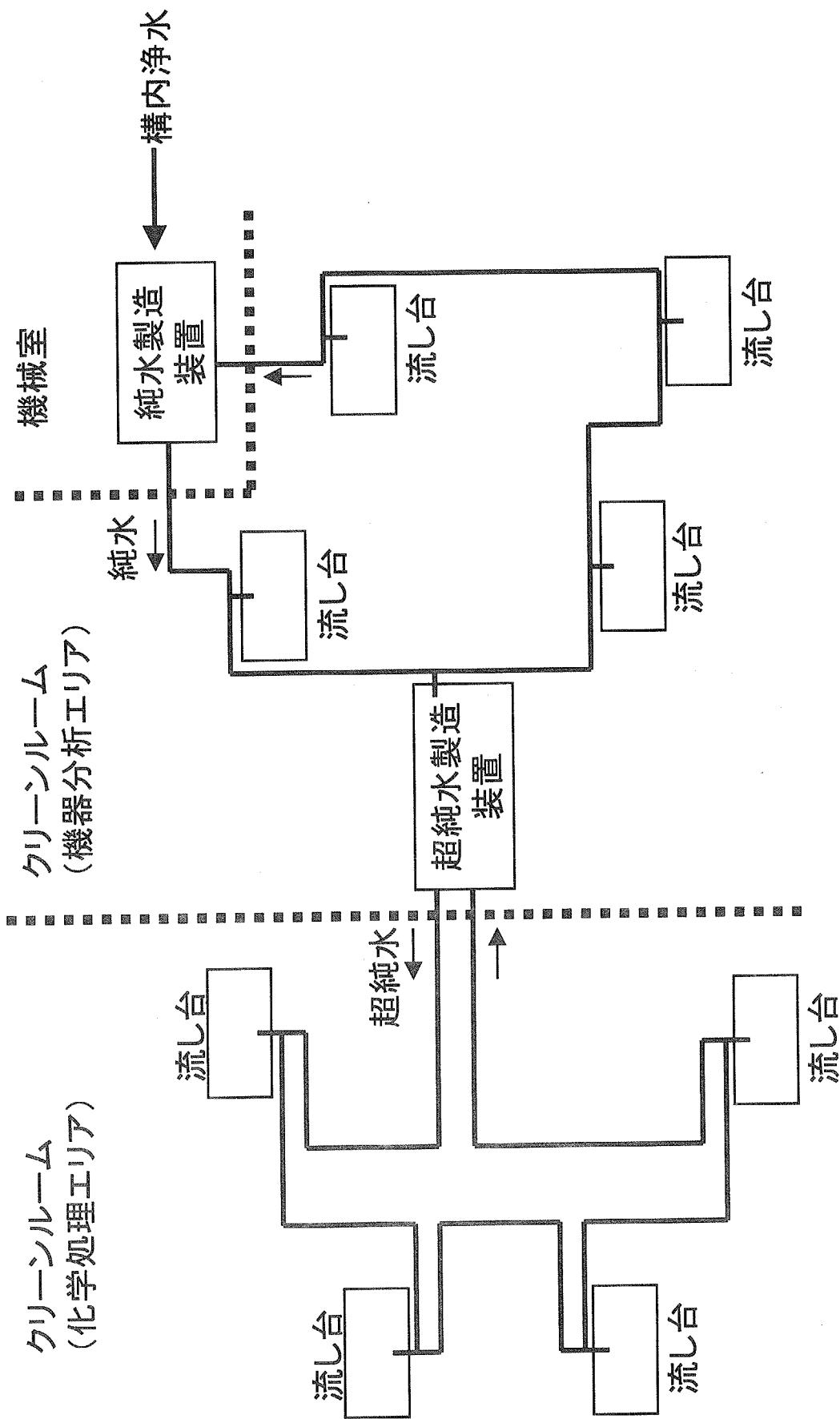


図5.5 分析棟 純水・超純水配管概念図

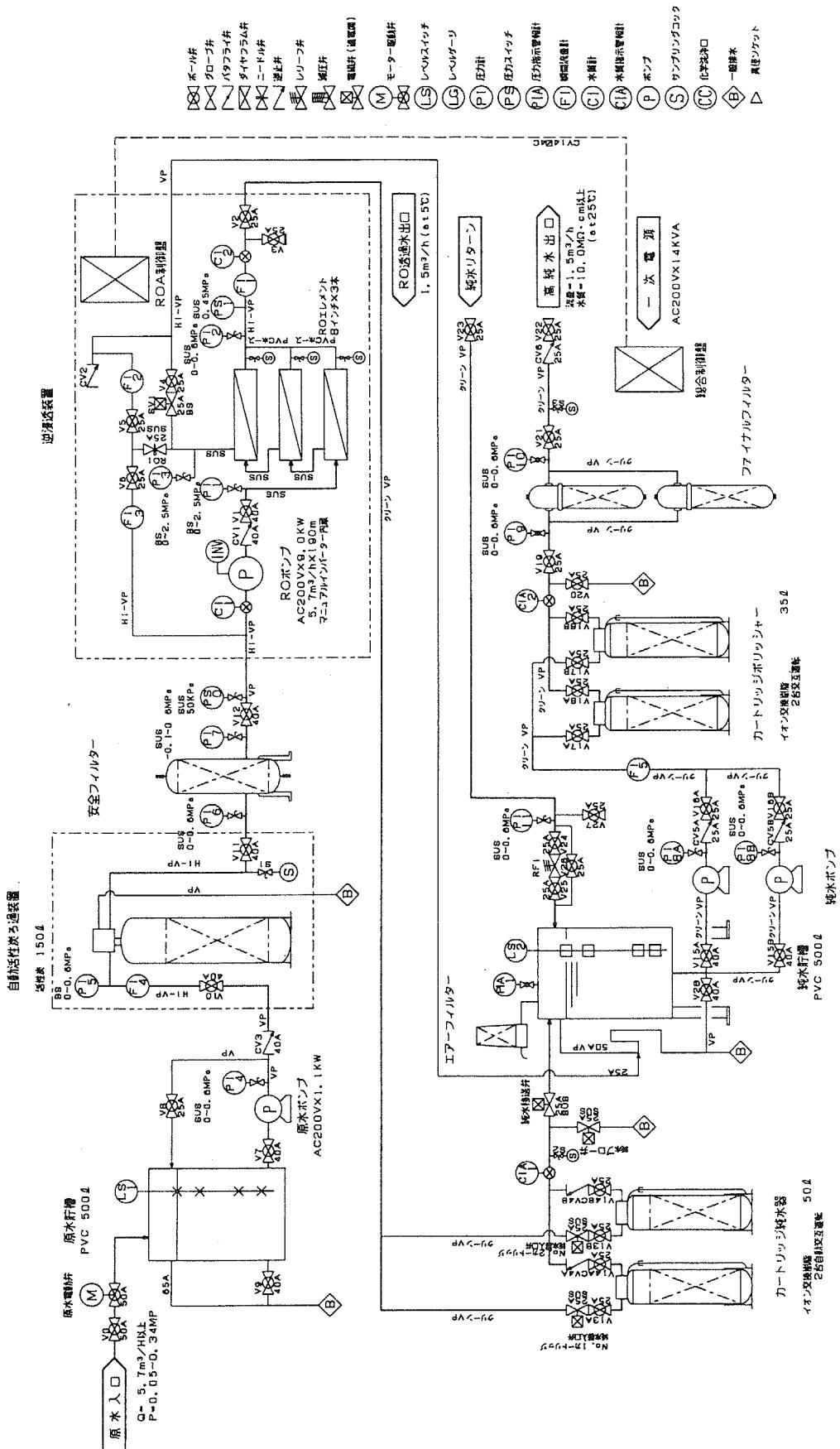


図 5.6 分析棟 純水製造装置フロー図

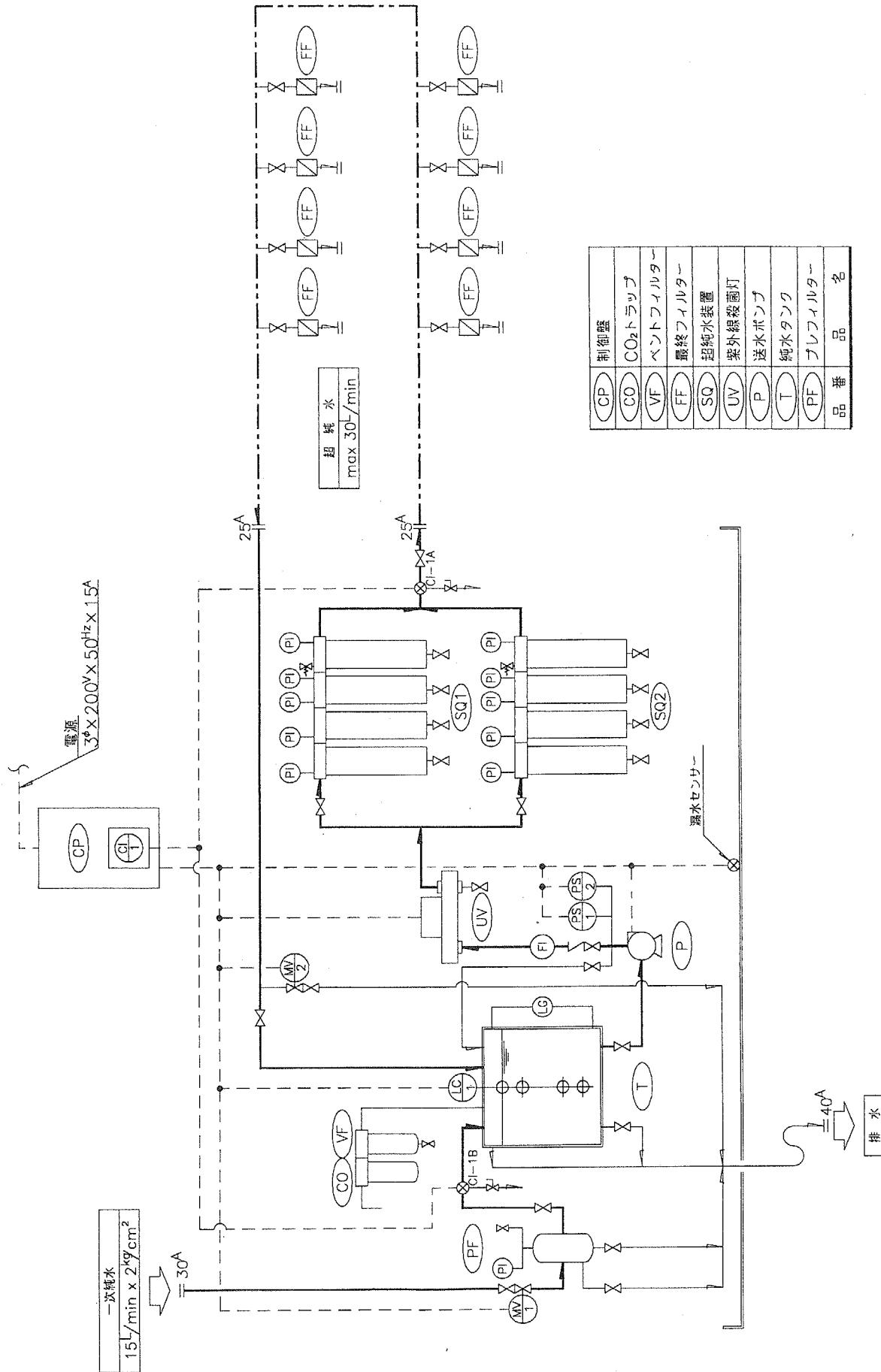
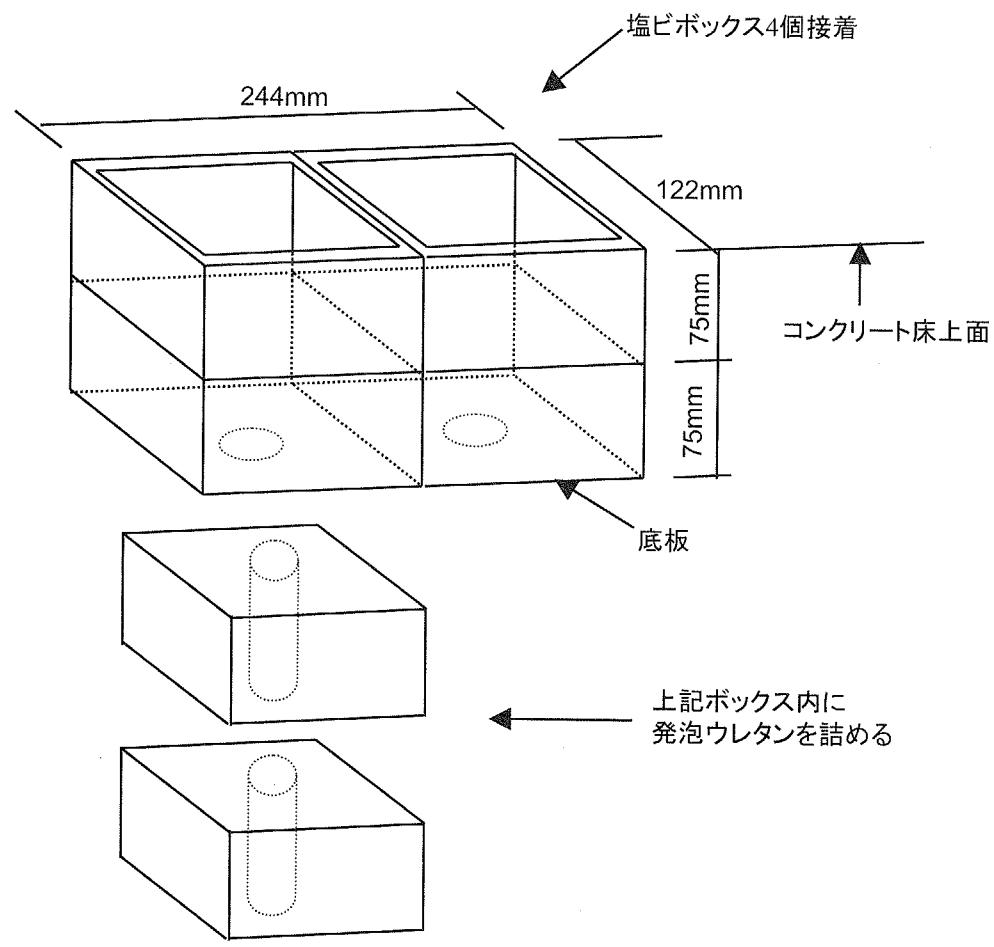
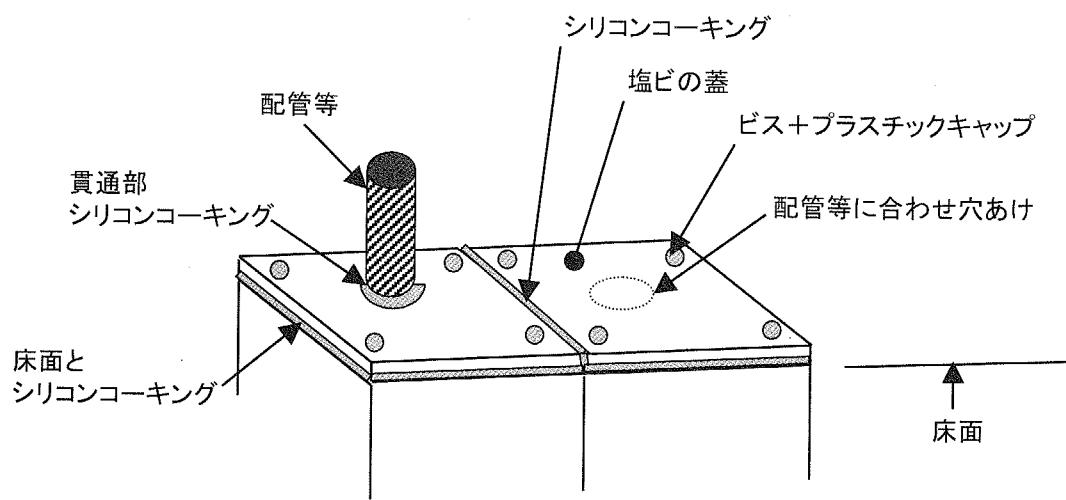


図 5.7 分析棟 超純水製造装置フロー図



(a) スリーブ姿図



(b) 貫通部施工時

図5.8 クリーンルーム用床貫通箱形スリーブ

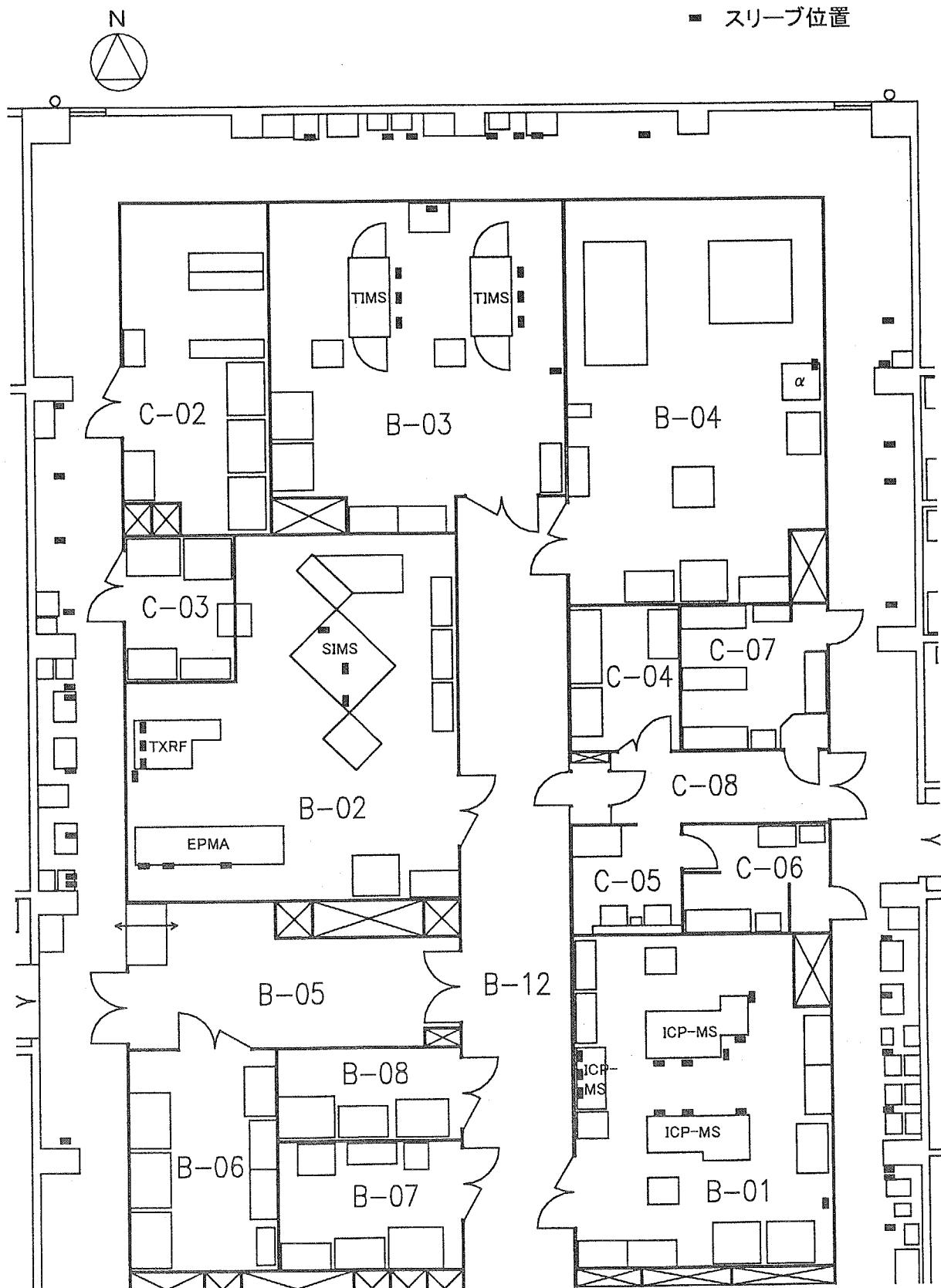
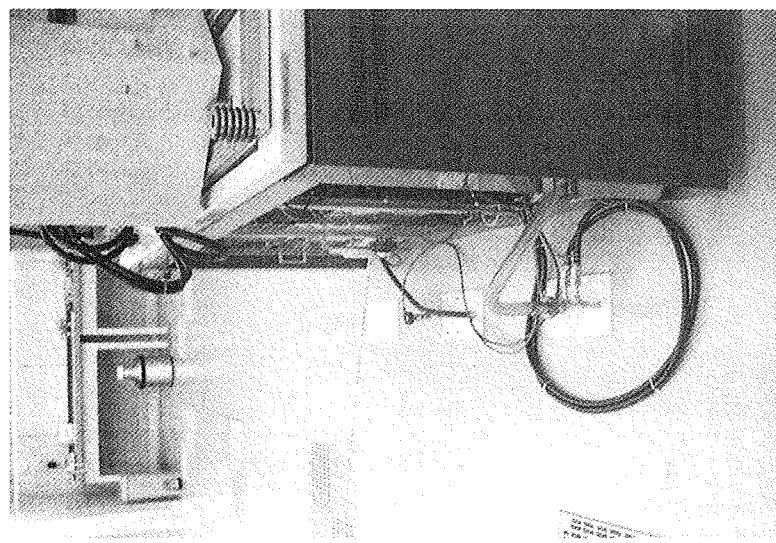
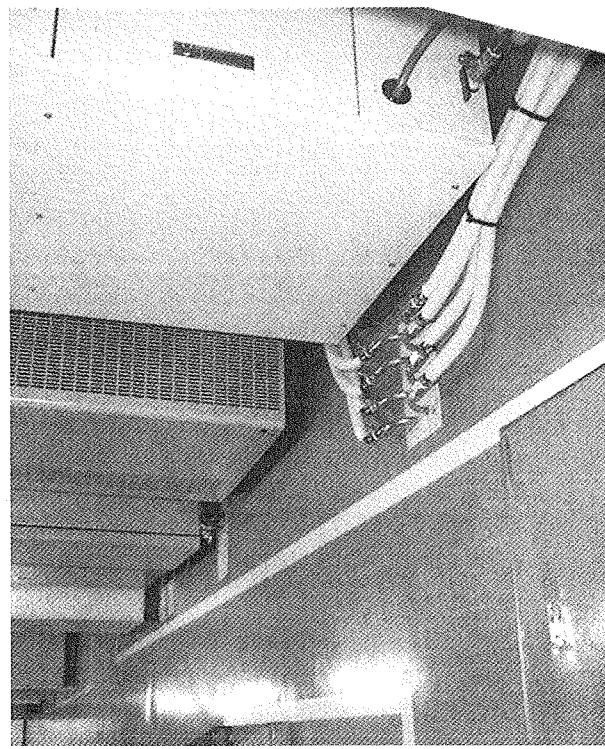


図 5.9 分析棟 床貫通箱形スリープ配置図



(a) クリーンルーム内側 (B-03室)



(b) サービスエリア側 (B-02室前)

図5.10 箱形スリープによるクリーンルーム内外の床貫通の様子

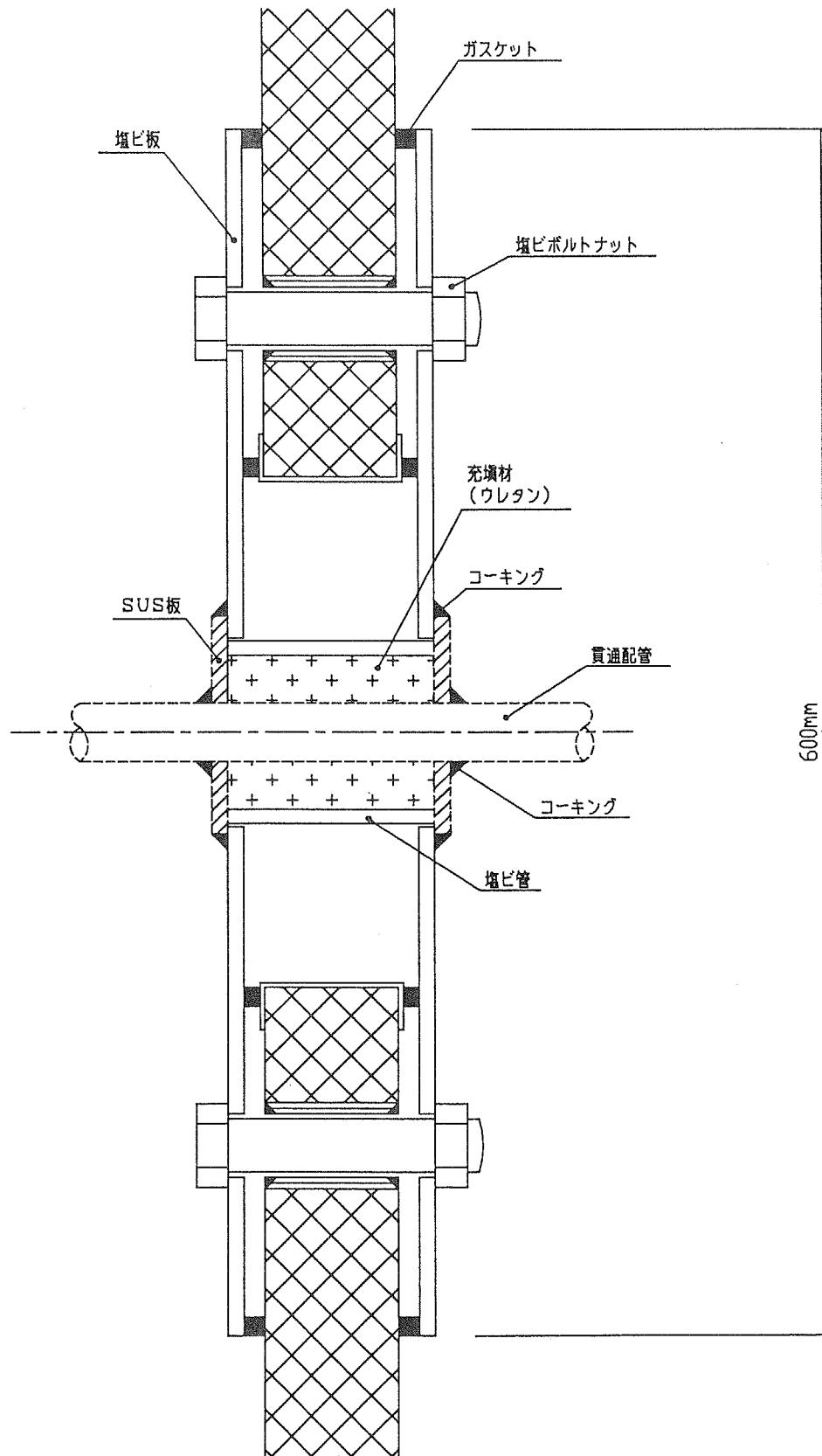


図 5.11 クリーンルーム外壁ペネトレーション部断面概念図

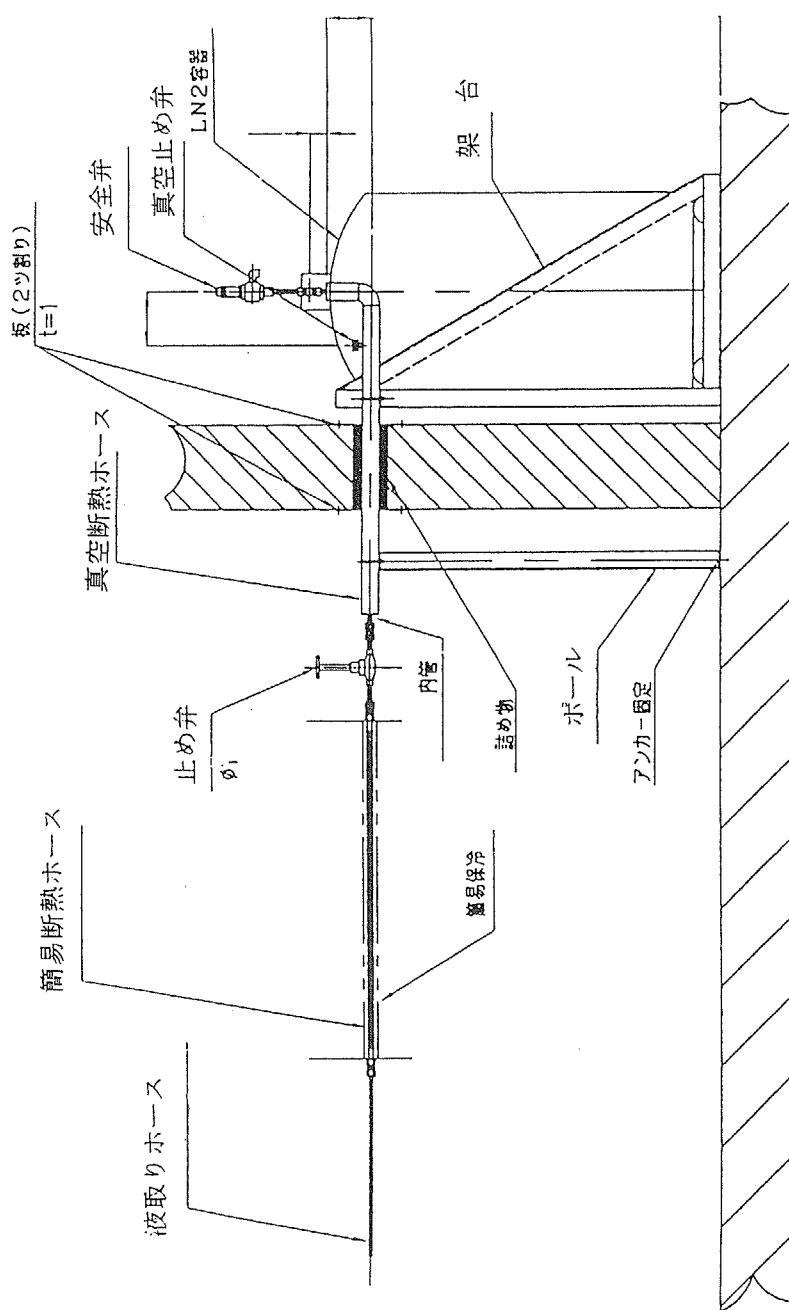


図 5.12 クリーンルーム 液体窒素供給用真空断熱配管設備概念図

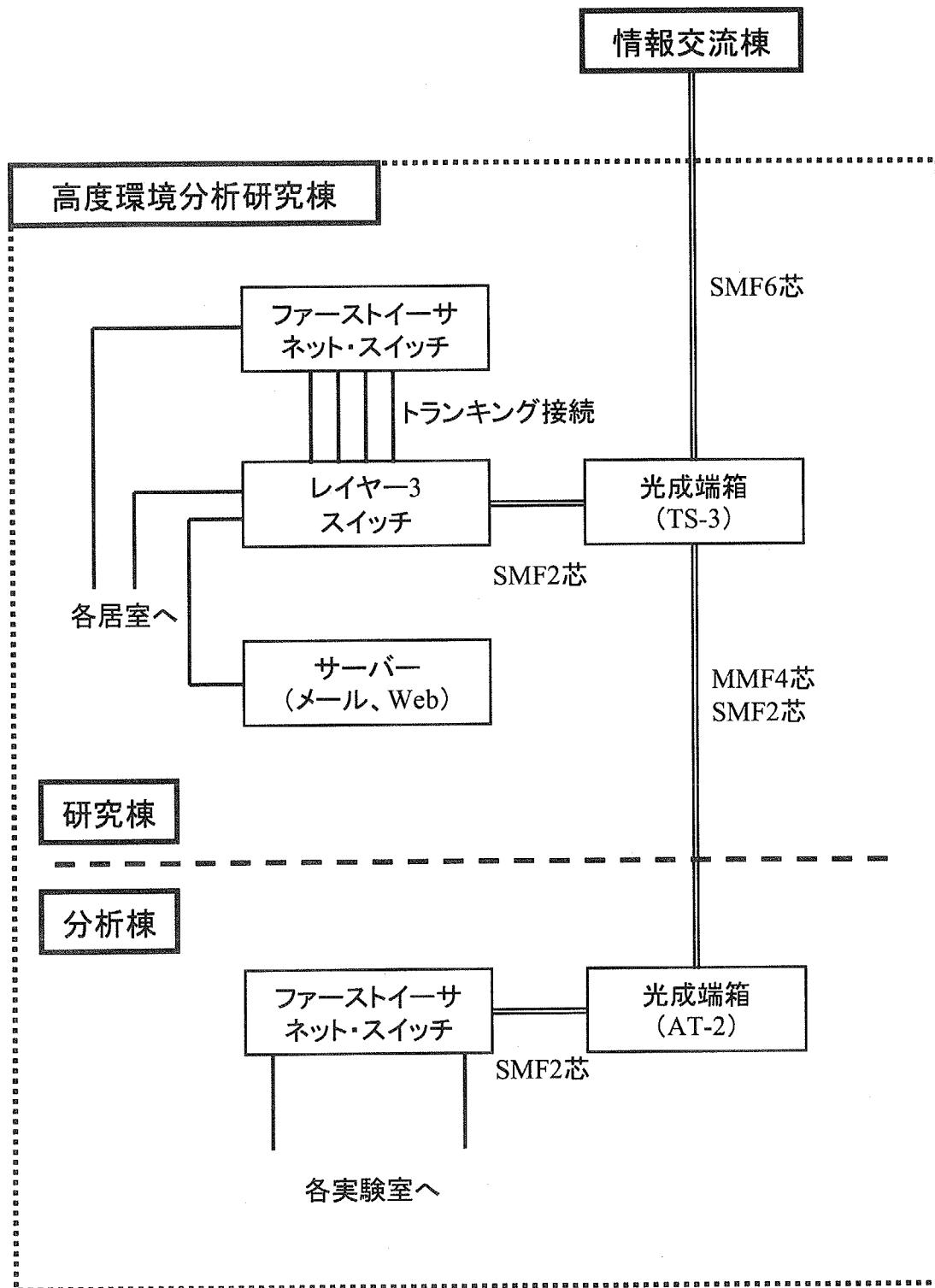


図5.13 CLEAR情報ネットワーク構成概念図

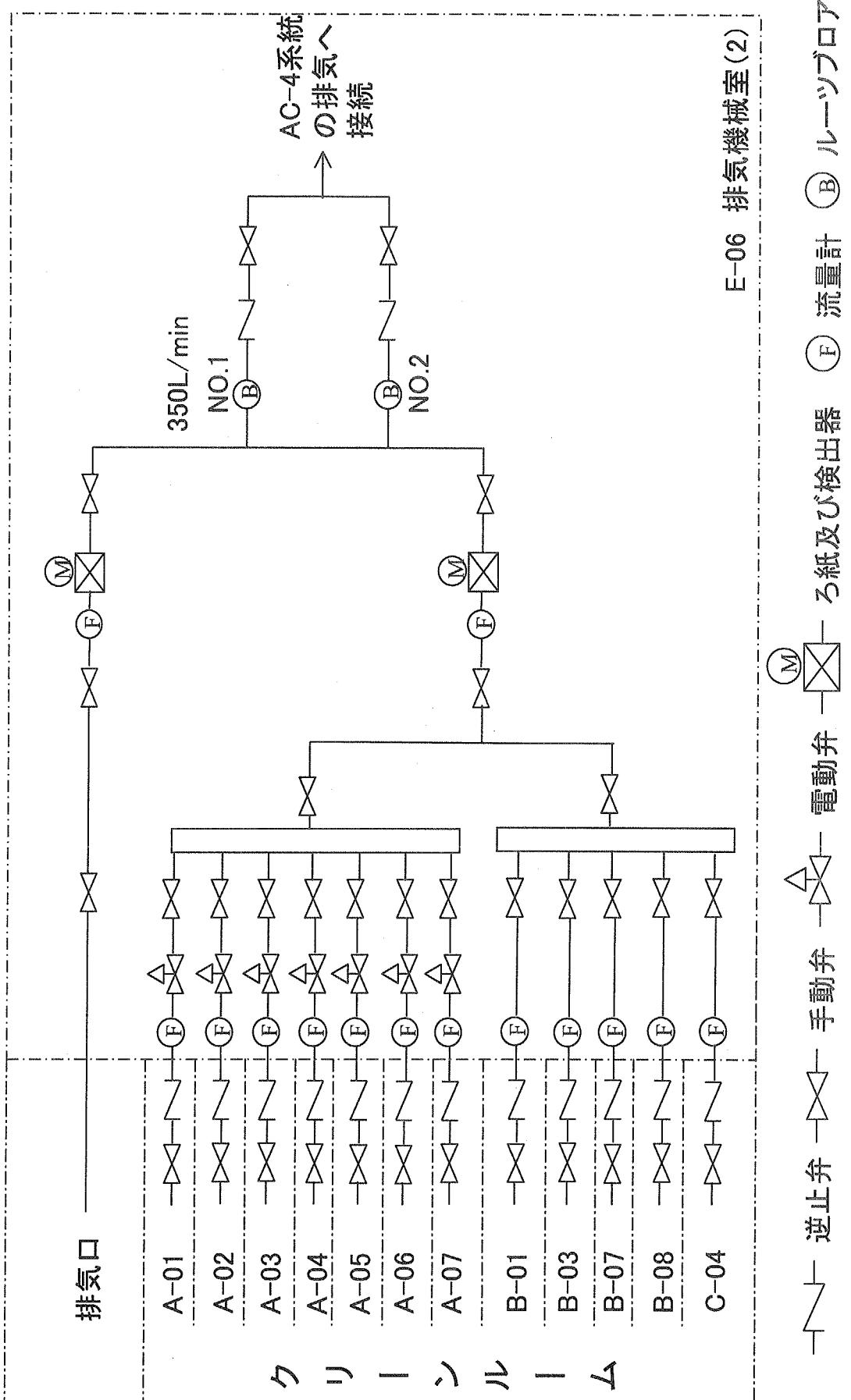


図6.1 CLEAR放射線管理設備 ダストモニタ配管系統図

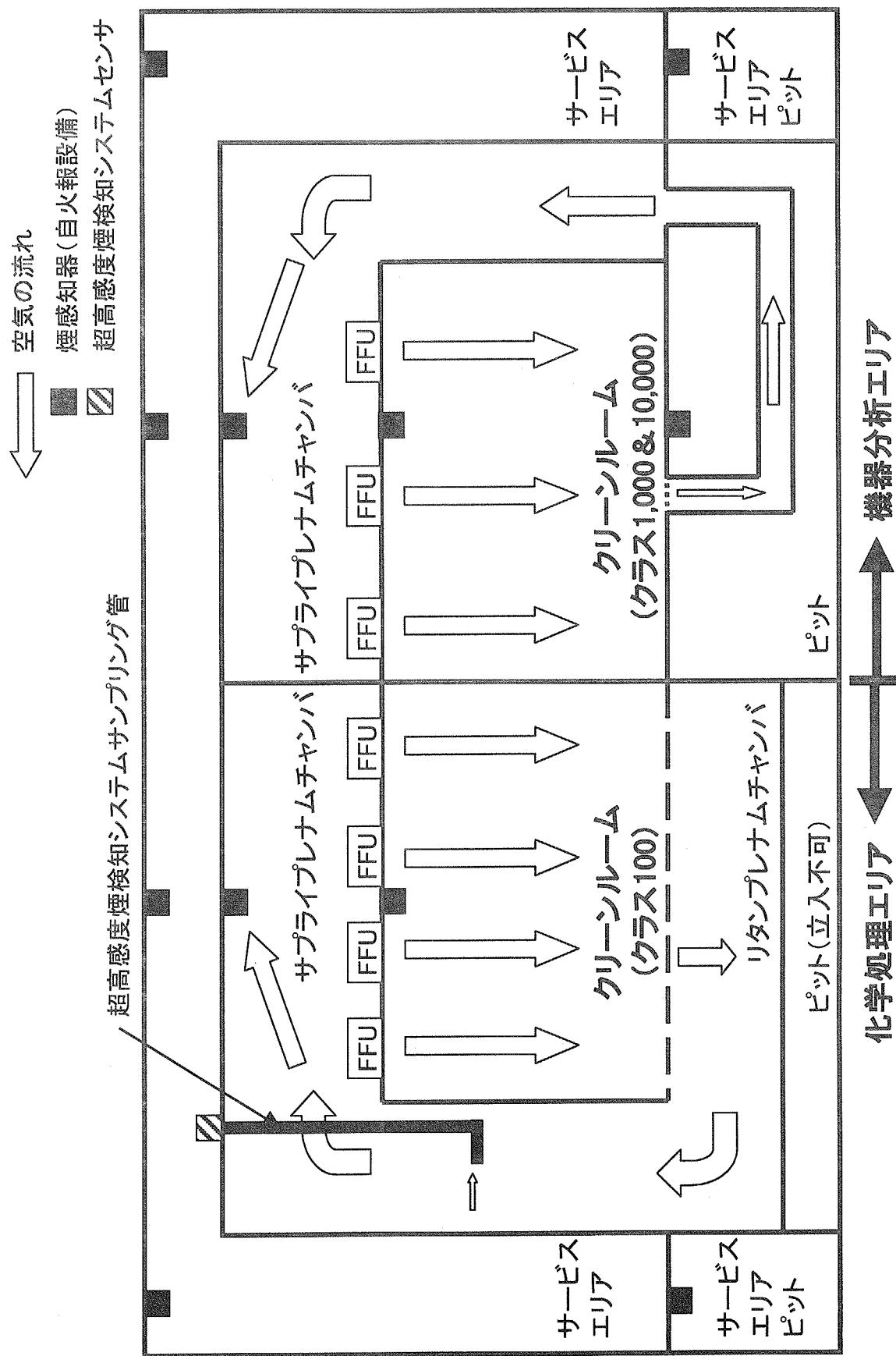


図6.2 分析棟 火災検知器設置概念図

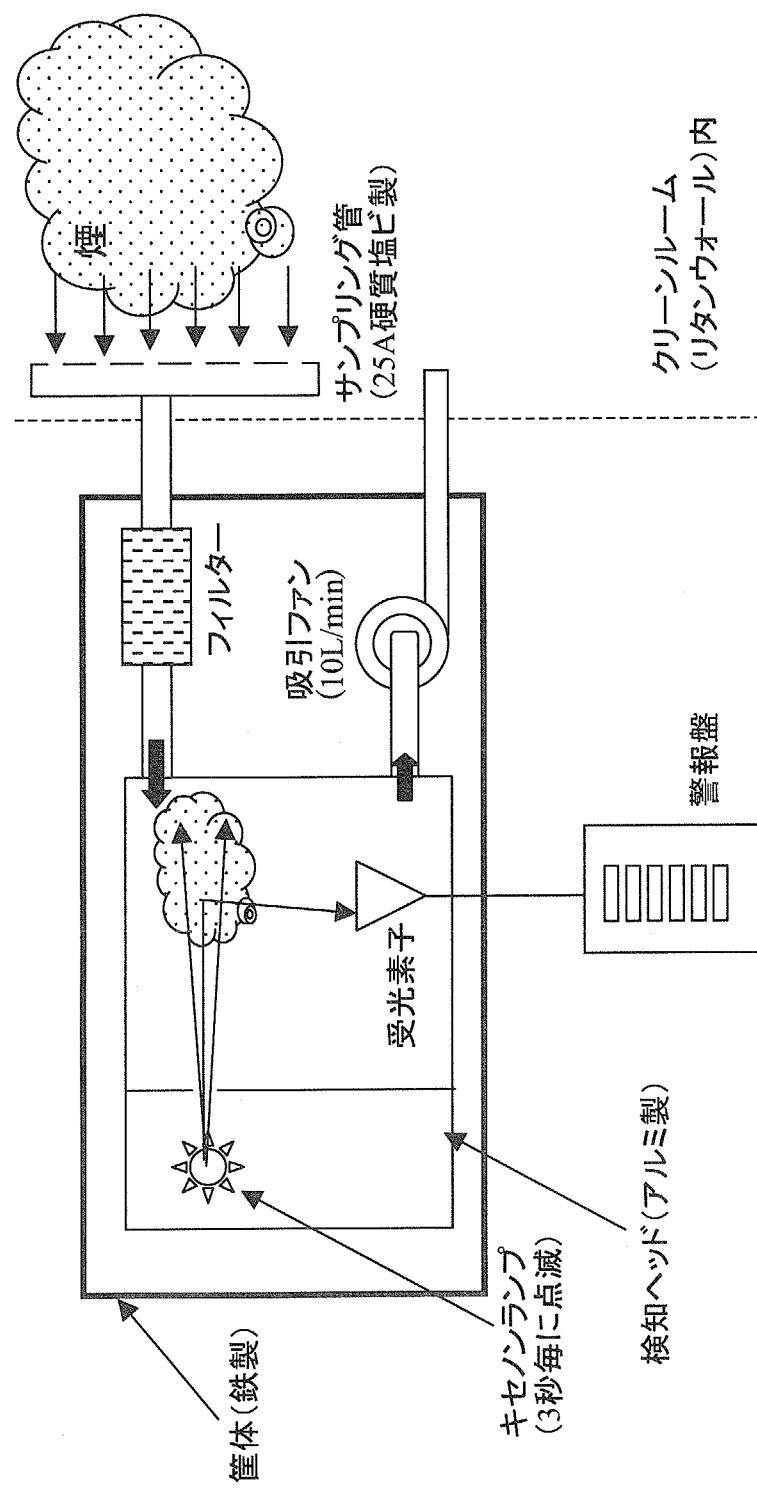


図6.3 超高感度煙検知システム原理図

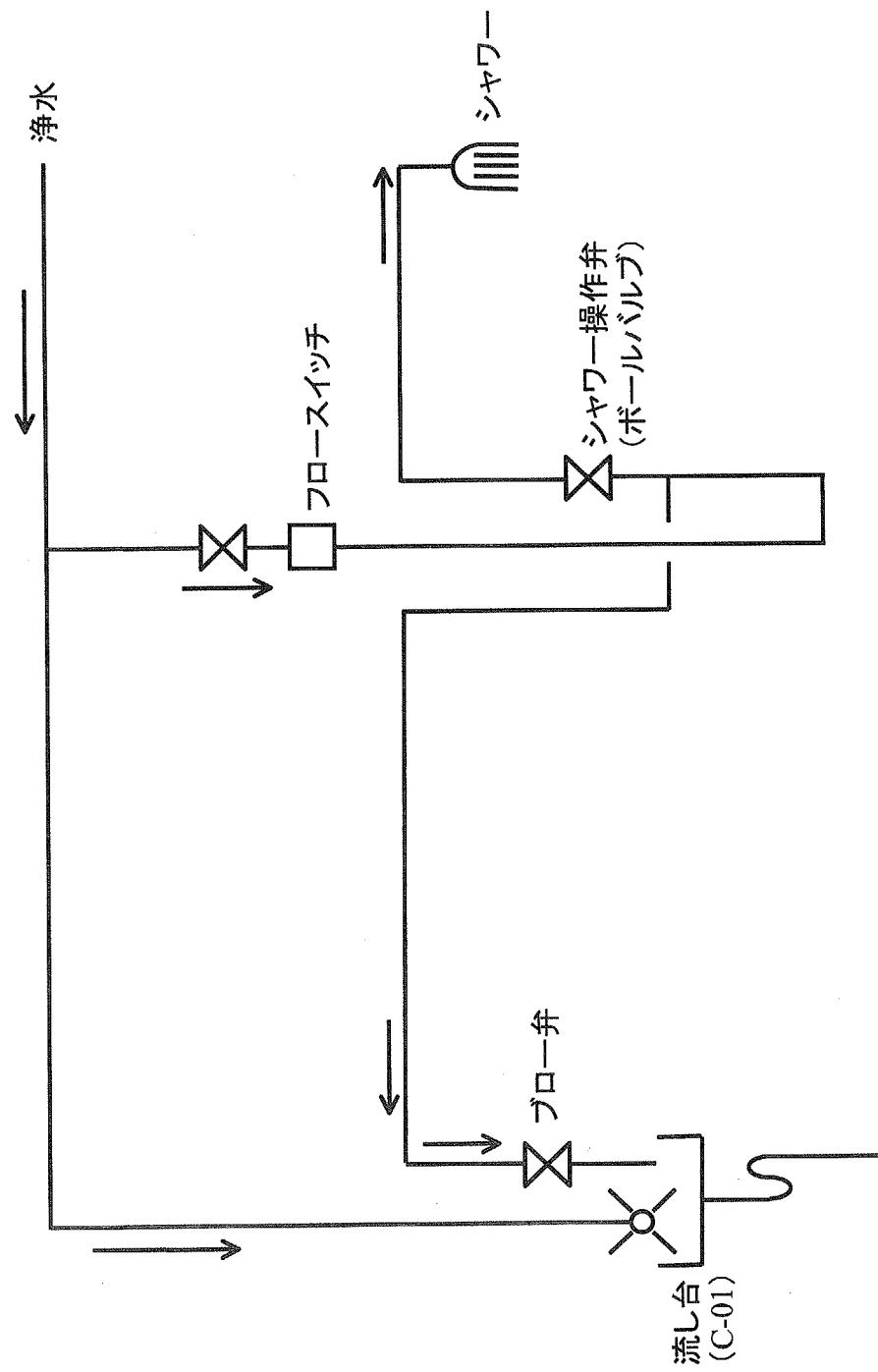


図6.4 非常用シャワー設備配管系統概念図（ク1）ンルーム内）

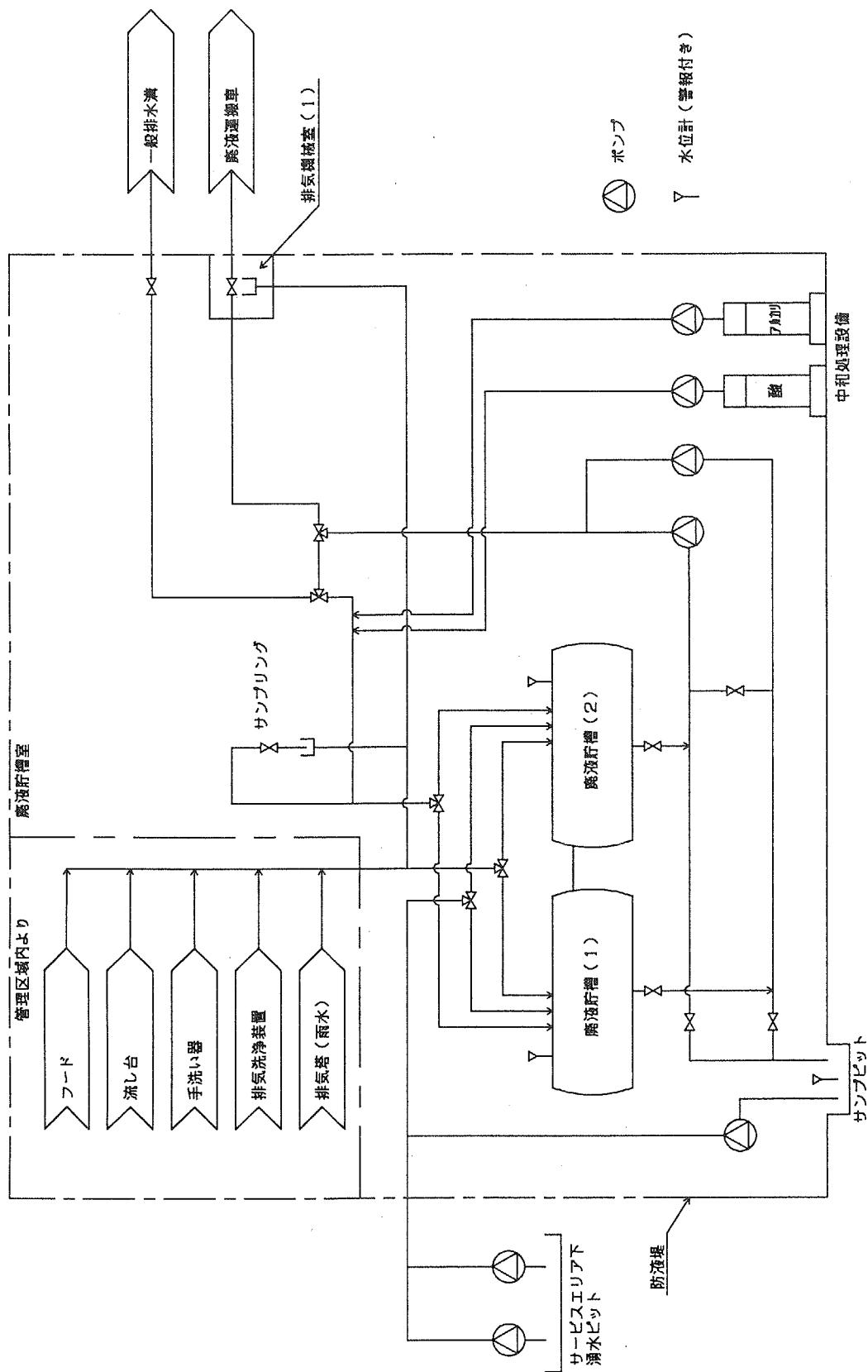


図 7.1 分析棟 管理区域廃液貯槽設備系統図

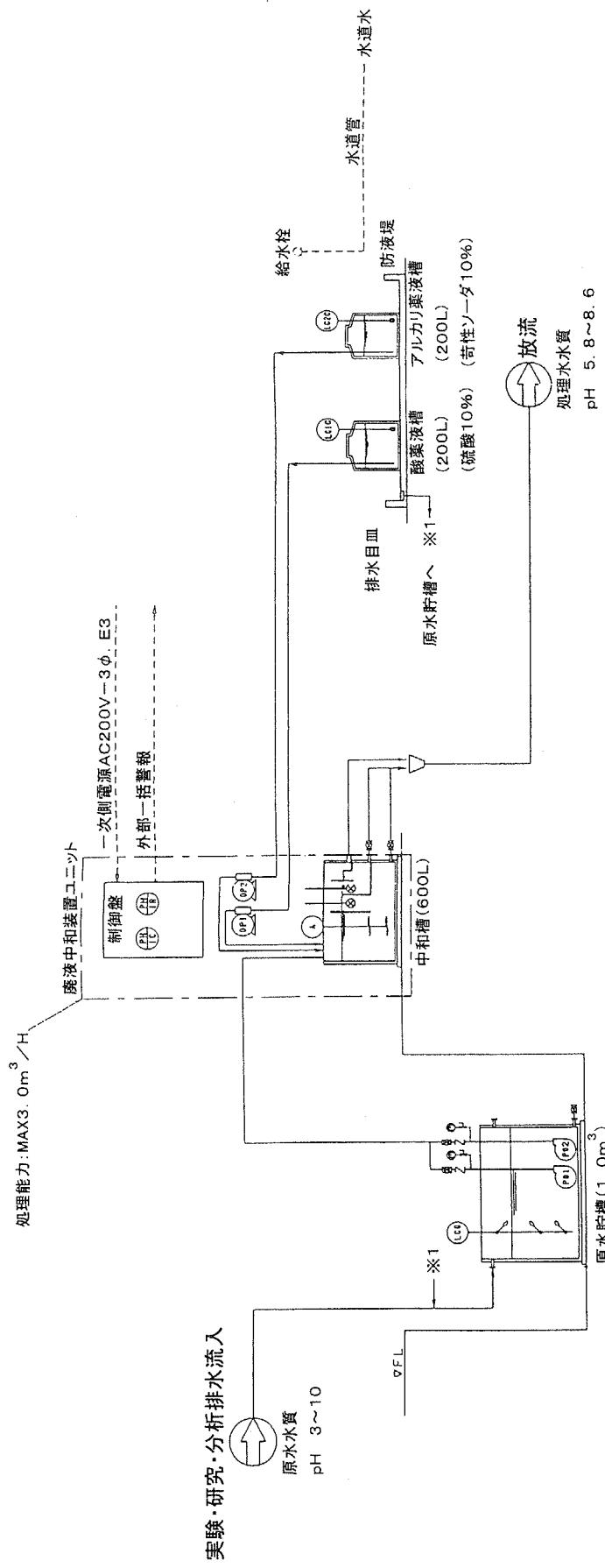


図 7.2 分析棟 非管理区域中和処理装置フローフ

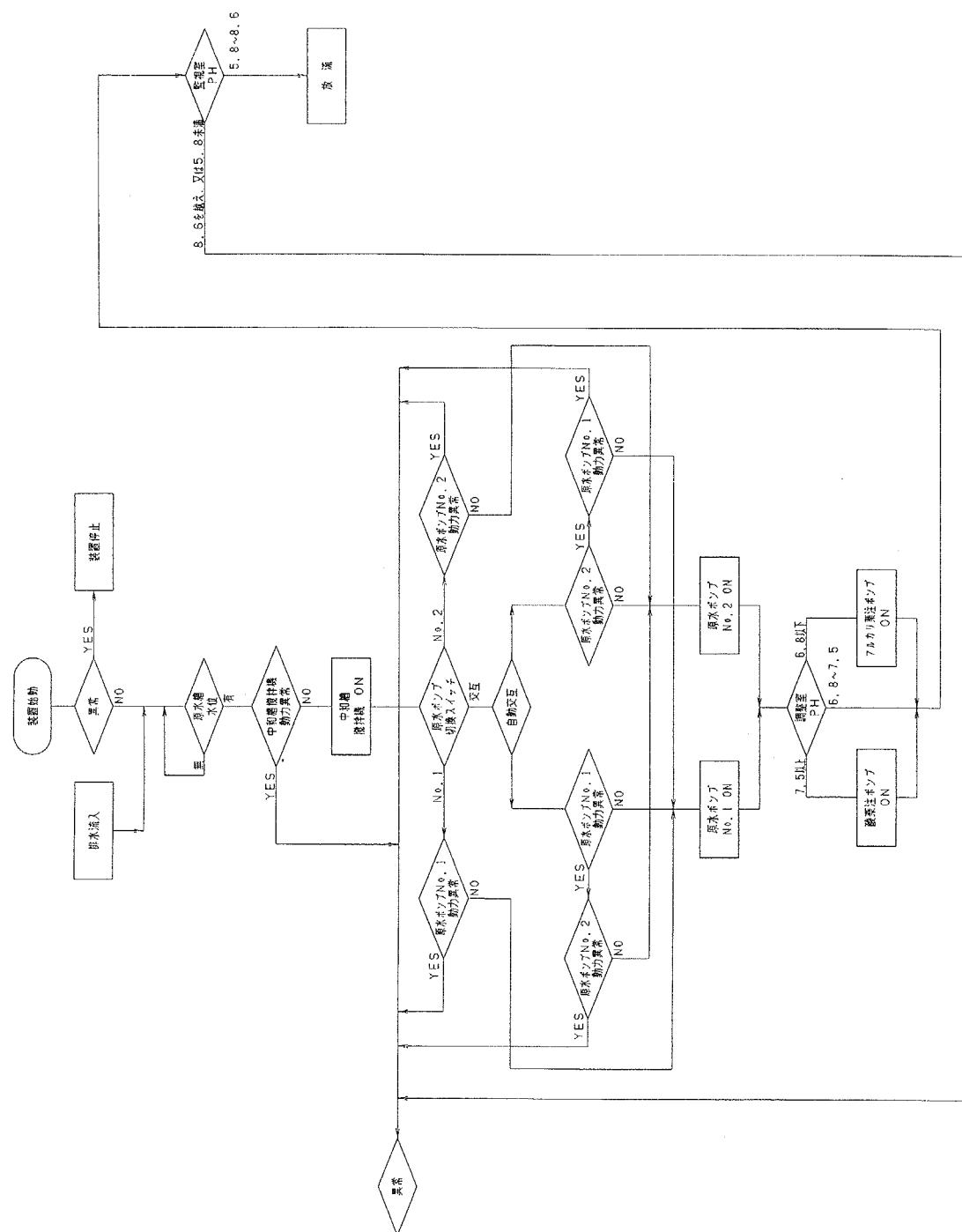


図 7.3 分析棟 非管理区域中和処理装置動作フロー図

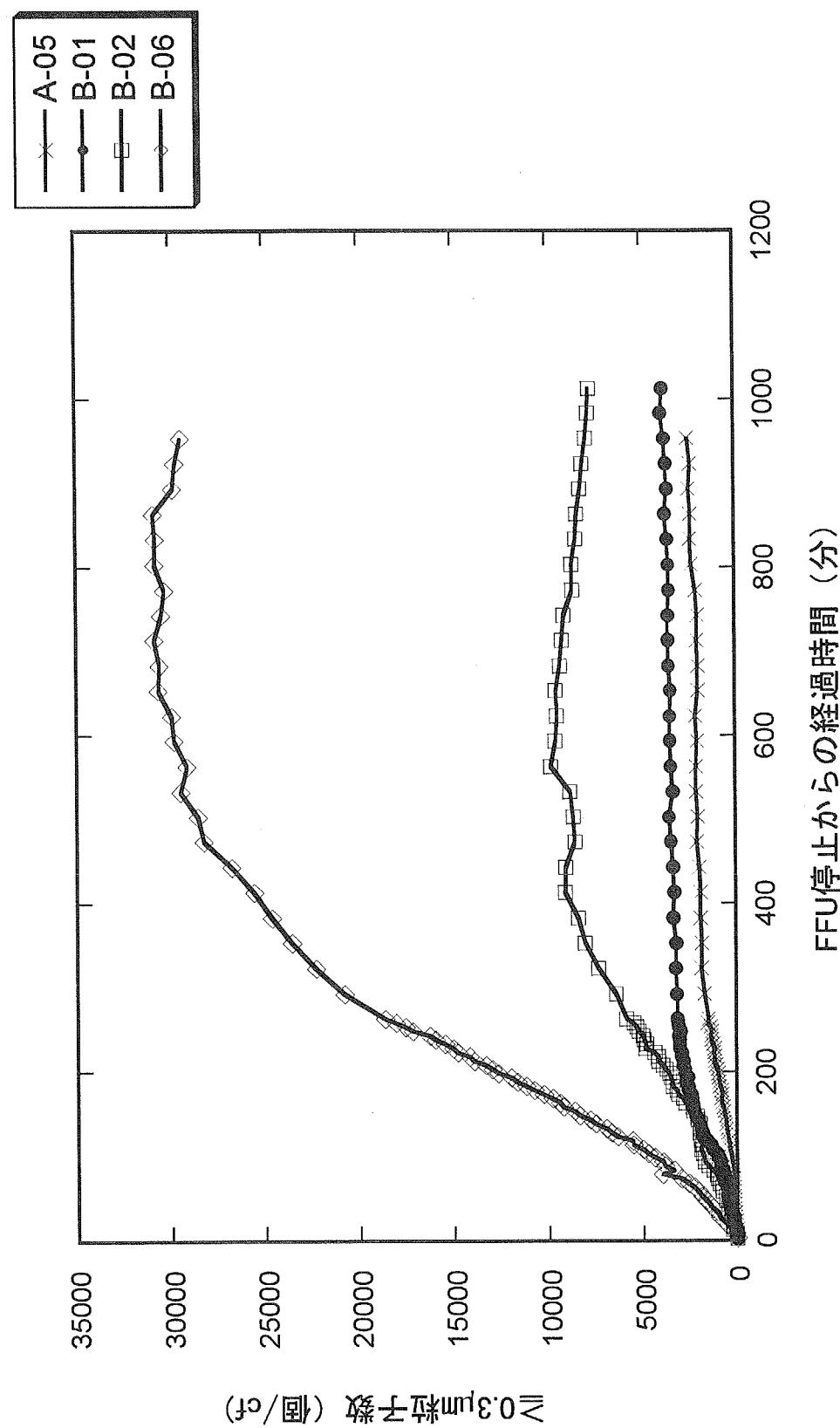


図8.1 ケリーンホールームAs-built試験における清浄度回復特性曲線 (a) 運転停止時

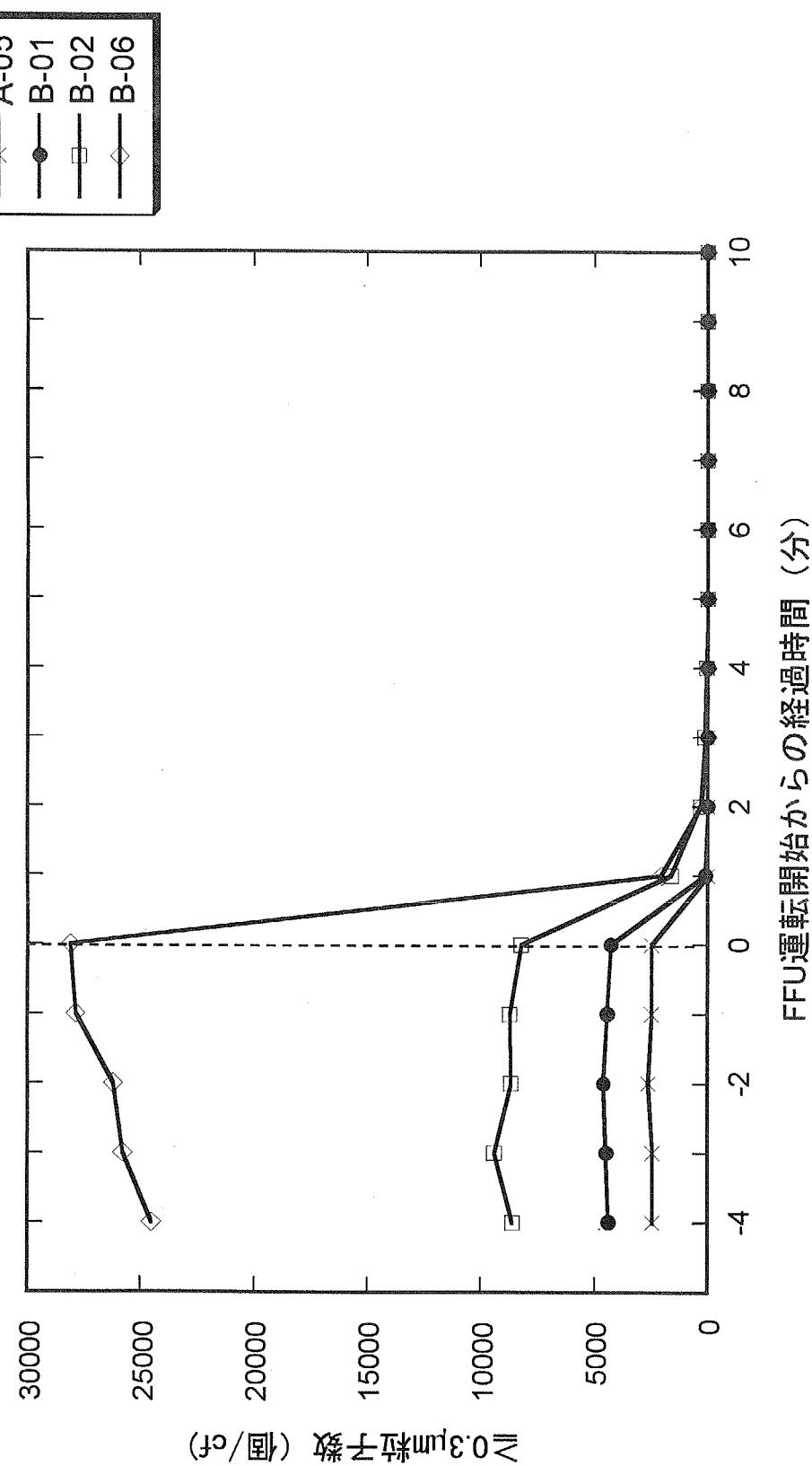


図8.1 クリーンルームAs-built試験における清浄度回復特性曲線 (b) 再起動時

付録1 クリーンルームの清浄度計算

1. 概要

本節では、CLEAR のクリーンルームの空気清浄化設備の設計値による各室の清浄度の計算結果を示す。

2. 計算条件

(1) 有効循環風量

クリーンフード、ICP-MS 及び試料分解装置の排気量、室加圧用（トランスマスク）風量並びに簡易型クリーンベンチの給気量は、室内の空気の循環に寄与しないと見なす。そこで、除塵風量（FFU を通過する総風量）からこれらを除いた風量を、室の空気清浄化に寄与する有効循環風量とし、清浄度計算に用いる。

(2) 室面積及び室容積

クリーンルーム各室の有効循環風量による清浄度計算を行うため、室内の簡易型クリーンベンチ部を除く室面積及び室容積とする。

(3) 実効換気回数

実効換気回数は、有効循環風量を室容積で除したものとする。

(4) 発塵量

人体からの発塵のみを対象とし、ツナギ型クリーンルーム用無塵衣着用による歩行状態の発塵量を計算に使用する。

(5) 清浄度計算

HEPA フィルタの効率を近似的に 1 と見なすとき、塵埃濃度定常式は以下となる¹⁾。

$$N_{\infty} = \frac{60G}{KV}$$

ここで N_{∞} は定常状態の塵埃濃度 [個/m³]、G は発塵量 [個/min]、K は換気回数 [回/h]、V は室容積 [m³] である。

これをもとに、本計算においては、次式を使用した²⁾。

$$\text{計算清浄度 [個/cf]} = \frac{\text{人体発塵量 [個/(min・人)]} \times \text{人員数} \times 60 [\text{min}/\text{h}]}{\text{有効循環風量 [m}^3/\text{h}]} \times 0.0283 [\text{m}^3/\text{cf}]$$

計算結果を表 A.1.1 に示す。

This is a blank page.

表A.1.1 CLEARクリーンルーム各室における清浄度の計算結果

室番号	室名	室面積(m ²)	室容積(m ³)	設計清浄度(個/cf) ^{2)*1}	非循環風量(m ³ /h)			有効循環風量(m ³ /h)	実効換気回数(回/h)	設計在室人員(人)	発塵量(×10 ³ 個/min) ^{2)*2}	計算清浄度(個/cf) ¹⁾	
					除塵風量(m ³ /h)	排気風量	トランシーファ風量						
A-01	前処理室(1)	12.2	36.6	≤100	7,200	1,500	100	1,200	4,400	120	1	56	22
A-02	前処理室(2)	16.2	48.6	≤100	10,800	2,400	100	2,400	5,900	121	2	112	32
A-03	前処理室(3)	22.7	68.1	≤100	14,400	4,000	140	3,600	6,660	98	2	112	29
A-04	化学処理室(1)	17.0	51.0	≤100	9,600	1,200	110	1,200	7,090	139	3	168	40
A-05	化学処理室(2)	22.7	68.1	≤100	15,600	2,400	140	4,800	8,260	121	3	168	35
A-06	化学処理室(3)	22.7	68.1	≤100	15,600	2,400	140	4,800	8,260	121	3	168	35
A-07	化学処理室(4)	22.7	68.1	≤100	15,600	2,400	140	4,800	8,260	121	3	168	35
A-08	天秤室	10.9	32.7	≤100	5,000	570	100		4,330	132	4	224	88
A-09	試薬調製室	12.4	37.2	≤100	6,000	2,400	100		3,500	94	2	112	54
A-10	管理用具室(1)	1.4	4.2	≤100	500		100		400	95	0.1	6	24
A-11	廊下(1)	30.8	92.4	≤100	8,400	510	1,170		6,720	73	0.3	17	4
B-01	質量分析室(1)	49.4	148.2	≤1,000	20,400	6,500	300	4,800	8,800	59	3	168	32
B-02	質量分析室(2)	63.2	189.6	≤1,000	21,600	1,000	380	1,200	19,020	100	3	168	15
B-03	質量分析室(3)	54.3	162.9	≤1,000	14,400	2,000	330	2,400	9,670	59	3	168	29
B-04	放射能測定室	60.8	182.4	≤1,000	13,200	1,000	370	1,200	10,630	58	3	168	27
B-05	機器搬入室	23.1	69.3	≤1,000	4,800		1,420		3,380	49	0.3	17	8
B-06	器具洗浄室	19.4	58.2	≤1,000	8,400	3,600	120	3,600	1,080	19	2	112	176
B-07	標準試料調製室	14.2	42.6	≤1,000	4,800	1,640		1,200	1,960	46	2	112	97
B-08	化学準備室	10.1	30.3	≤1,000	2,400	1,200	100		1,100	36	1	56	86
B-09	器具保管室(1)	6.5	19.5	≤1,000	1,200		140		1,060	54	0.1	6	9
B-10	器具保管室(2)	4.2	12.6	≤1,000	900		100		800	63	1	56	119
B-11	管理用具室(2)	1.6	4.8	≤1,000	500		100		400	83	0.1	6	24
B-12	廊下(2)	63.2	189.6	≤1,000	12,000	2,440	830		8,730	46	0.3	17	3
C-02	試料保管室	28.0	84.0	≤10,000	1,800	350	100		1,350	16	2	112	141
C-03	粒子処理室(1)	9.7	29.1	≤10,000	1,200	1,000	100		100	3	1	56	951
C-04	放射線管理室(1)	9.7	29.1	≤10,000	1,800	1,200			600	21	1	56	158
C-05	放射線管理室(2)	7.3	21.9	≤10,000	500		210		290	13	3	168	984
C-06	更衣室(女子)	9.7	29.1	≤10,000	900		120		780	27	5 ^{*3}	280	610
C-07	更衣室(男子)	13.0	39.0	≤10,000	900		150		750	19	18 ^{*3}	1,008	2,282
C-08	廊下(3)	9.7	29.1	≤10,000	900	580			320	11	0.3	17	89

^{*1} ≥0.5μm粒子対象。^{*2} ツナギ型クリーンスーツ着用の場合の人体からの発塵量を56×10³個/(min·人) (≥0.5μm粒子、歩行状態)とした。^{*3} 収容人員。

付録2 分析棟給排気系統運転のインターロック制御の考え方

- a. 自動制御盤 CP-1 ~ CP-3 のいずれかの電源が喪失した場合には、給排気系はいずれの系統も起動することはできない。運転中の場合は緊急停止する（運転の自動制御ができなくなるため）。
- b. AC-4 系統（負圧系）が運転している状態でないと、他の管理区域の系統（AC-1 ~ AC-3 系統）を起動することはできない。運転中に AC-4 系統が停止した際には、これら 3 系統も連動して停止する。
- c. AC-1 ~ AC-3 及び AC-5 系統の起動は給気ファンから、AC-4 系統の起動は排気ファンからそれぞれ開始する。
- d. 給気ファン起動時、一定時間（約 30 秒）経過しても当該系統給気系の電動ダンパ（MD）の開信号が作動しない場合、給気ファンを停止する。運転中に同 MD が閉止した場合は緊急停止する。
- e. 給気ファン停止時は、相互汚染防止のため、当該系統給気系 MD を即時閉止（スプリングリターン）し、室間の空気の移動を防止する。
- f. 給気ファンの運転・停止に連動して、当該系統の排気ファン及びスクラバーを運転・停止する。ただし AC-4 系統では、排気ファンの運転・停止に連動して、給気ファンを運転・停止する。
- g. 排気系に MD が設けられた AC-2 及び AC-3 系統においては、排気ファン起動時、一定時間（約 30 秒）経過しても当該系統排気系の MD の開信号が作動しない場合、排気ファンを停止する。
- h. 排気ファンの運転・停止に連動して、当該系統のクリーンフードのファンを運転・停止する（本文 5.1.1.4 節参照）。
- i. 排気ファン 2 台のうち 1 台は予備機であり、運転号機の故障時には予備機が自動起動する。
- j. 排気ファンが 2 台とも（運転号機及び予備機）故障した場合は給気ファンを停止し、これを受けて当該系統全体を停止する。
- k. 給気ファン 2 台のうち 1 台は予備機だが、エアバランスのため、給気ファン故障時の予備機の自動起動はせず、当該系統の給排気全体を停止する。
- l. 自動火災報知設備（自火報）発報時は、当該系統の給排気系を停止する。給排気系の復帰は運転員が監視しながら手動で行う。
- m. E-02 室（空調機械室）または E-09 室（給気チャンバ室）の自火報が発報した際は、全系統の給気に影響するおそれがあるため、AC-1 ~ AC-5 の全給排気系統を停止する。この際は FFU は停止しない。
- n. 運転中に、クリーンルーム各系統（AC-1 ~ AC-3）の代表室のいずれかとサービスエリアとの間に異常な差圧（300Pa を越える過負圧または過正圧）が発生した場合には、AC-4 系統を緊急停止し、もってクリーンルームのすべての系統を停止する。各系統の代表室は AC-1 系統は A-11 室、AC-2 系統は B-06 室、AC-3 系統は B-01 室とした。

付録3 クリーンルーム施工管理

クリーンルームが所定の性能を發揮し清浄空間を創出するためには、単に設計された空気清浄化設備を建設し運転すればよいというものではなく、施工段階から清浄度を意識して、パーティクル汚染対策をとることが重要である³⁾。

クリーンルームで清浄空間を構築するには、次の4原則が存在する^{1),4)}。

- 1)微粒子を持ち込まない
- 2)微粒子を発生させない
- 3)微粒子を排除する
- 4)微粒子を蓄積させない

上記の原則はクリーンルームの施工管理においてもそのまま当てはまる。一般には施工段階を進捗に合わせてステップ分けし、各段階の作業内容及び清浄度に応じた管理を行っており、CLEARのクリーンルーム施工においてもこうした考え方に基づいて以下のようないくつかの管理を行った³⁾。

a.ステップA: 車体工事完了後

- 1)塵埃を持ち込まない。
 - ・外部よりの入口を数カ所に限定し、履き替え用の下駄箱、上履きを用意する。
- 2)塵埃を堆積させず、速やかに除去する。
 - ・清掃方法、清掃ルールの徹底。
 - ・クリーンエリア設置機材や持ち込み資材の清掃、整理整頓など。
- 3)クリーンルーム内作業員への教育・訓練の実施。

b.ステップB: 内装仕上げ施工時（ステップAの内容に加えて）

- 1)塵埃を持ち込まない。
 - ・クリーンルーム入室用粘着マットの設置。
 - ・クリーンエリア内作業服の指定（ツナギの紙製防塵衣、クリーンエリア内専用上履き）。
 - ・エリア内への資材等の持ち込み制限（段ボール、木材等）。
- 2)塵埃を堆積させず、速やかに除去する。
 - ・クリーンルーム用掃除機による清掃。
 - ・発塵作業における養生及びクリーンルーム用掃除機の使用。

c.ステップC: HEPA フィルタ装着以降（ステップBの内容に加えて）

- 1)塵埃を持ち込まない。
 - ・クリーンエリア内作業服の指定（ツナギの布製クリーンルーム用無塵衣、クリーンルーム用シューズ）。
 - ・エリア内への段ボール、木材資材等の持ち込み禁止。
- 2)塵埃を堆積させず、速やかに除去する。
 - ・室内清掃における純水拭き。
 - ・発塵作業のブース化（ビニール等で覆い、クリーンルーム用掃除機で吸引しながら作業

- する。なお外部への持ち出しが可能なものはクリーンエリア外にて加工する。)
- 3)クリーンルーム内作業員への教育・訓練の実施。
- ・入室並びに機材持ち込みルールの再徹底。
- 4)本設機器(外調機、FFU)運転によるクリーンルーム内の加圧と清浄度確保。

付録4 クリーンフードのCLEAR設置後の追加措置

製作したクリーンフードの性能は立会検査で確認したが、設置条件等により、清浄度等に支障を来す例が見受けられた。そこで以下のような手直し措置を行った。

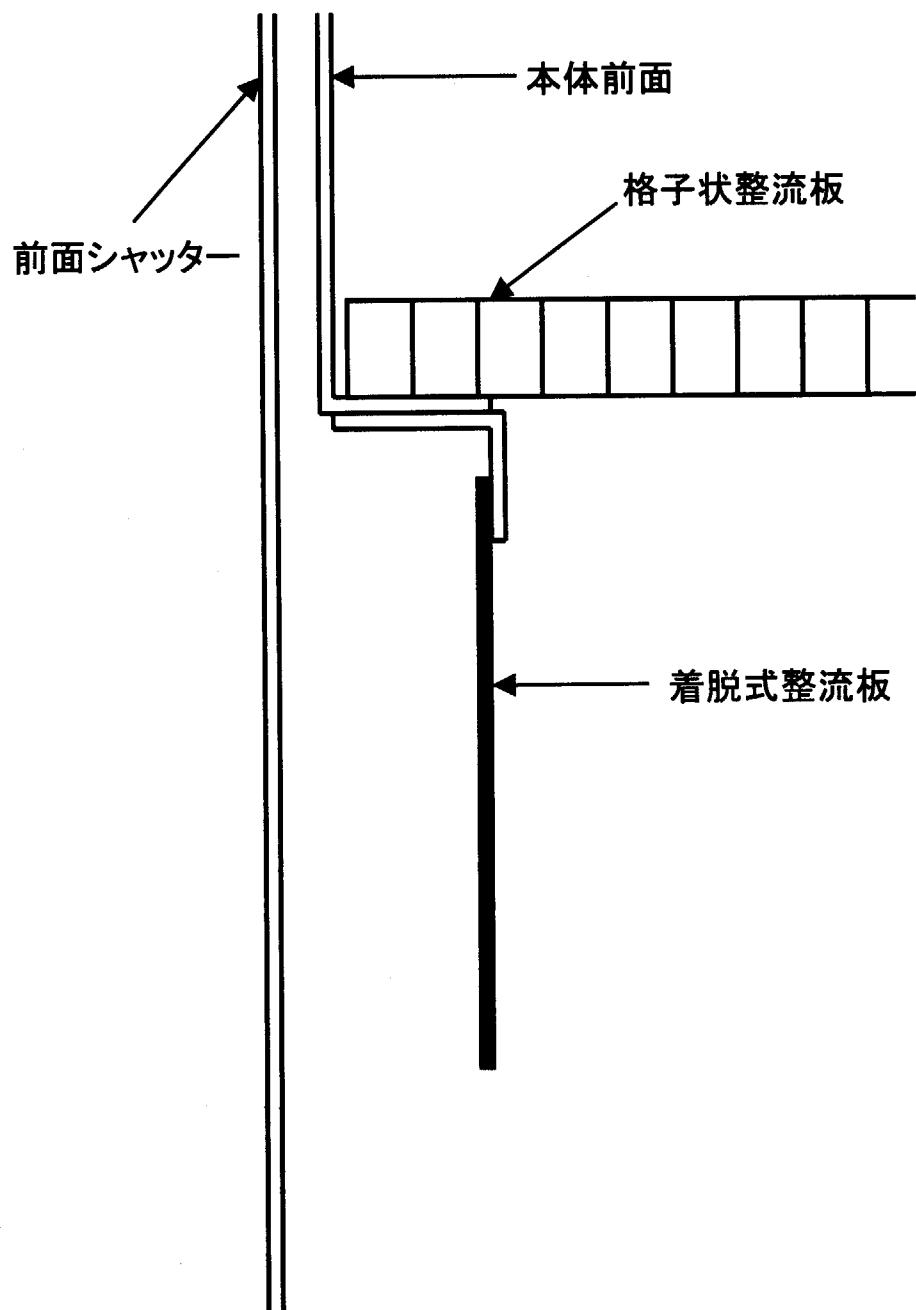
汎用クリーンフードでは、ULPA フィルタが左右 2 面に分かれて間に枠があるため、この枠の下で吹き出し風速が小さくなることから、中心部分で前面シャッターと本体との間の隙間から作業面内への外部空気の巻き込みが生じることがあることが判明した。これを抑えるための対策として、本体前面部に図 A.4.1 に示すような整流板を取り付けた（左右端は本体側面との隙間のないようにする）。清掃を考慮して整流板は着脱式とした。

さらに一般実験室では、外部空気の巻き込みが粒子の混入を意味することから、上記の対策を行った上で作業面上の清浄度を細かく測定し、清浄度クラス 10 を保証できる範囲を線引きして示した。この範囲は装置が設置された部屋の空調設備の条件によって異なるが、手前部分約 300mm 幅より奥となる。

D-03 室では部屋の給気風量が大きく、給気吹出口及び FCU とクリーンフードとの位置関係から、これら空調設備からの吹き込みによるフード清浄度への影響が見られた。そこで室給気吹出口には補助ダクトを設けてフード付近での吹き出しを避け、FCU には整流板を設けて、室空調設備の影響を低減する措置をとった。

中心部分の吹き出し風速が小さいことで、清浄度の他、作業面内外空気の分離性能にも若干の影響が見られた。そこで気流の乱れが見られる範囲（中央から左右 100mm 幅及び手前部分）を特定して線引きして示した。

過塩素酸用クリーンフード（A-03 室）では ULPA フィルタが 1 枚であるため、汎用クリーンフードのような中央部での外部空気の巻き込みは起こらないが、逆にフィルタの左右両脇部分で乱流が生じることが据付後に判明した。そこで、フィルタ枠の左右の辺から垂直に整流板を、多少前に回り込む形で取り付けて乱流を低減すると共に、作業面上で乱流が生じるおそれのある範囲を線引きして示した。



図A.4.1 汎用クリーンフード本体前面整流板取付部側面詳細図

付録5 クリーンルーム内什器等の仕様

クリーンルーム内で使用する什器類は、清浄度に応じて以下のように選定・製作した。

a. 流し台

クリーンルーム内で純水または超純水が供給されている流し台は「クリーン流し台」として、塩ビ製のものを製作した。本体塩ビの材質は金属低溶出性のものであり、水栓は超純水対応のものとした（無可塑塩ビの超純パイプ及びボールバルブ）。塵埃の滞留等を防ぐため、棚板、収納等のない設計とした。また柔軟な使い勝手を考慮し、シンク部分を広く取った上で、パンチングの着脱式水切り板を設けた。金属ビスはエポキシ樹脂塗装またはコーティングにより処理した。

b. 天秤台

クリーンルーム内で使用するため、発塵及び金属部分の露出がないように設計・製作を行った。ゴムによる除振構造を持った天秤台であり、搭載最大荷重は 40kg である。塵埃の滞留等を防ぐため、収納等のない設計とした。本体は木製であり、一部化粧板仕上げ、その他は内外面共にポリウレタン樹脂塗装とした。天秤搭載部は、スチール板の両面にエポキシ樹脂焼き付け塗装を行った。その他金属部品の使用部には塗装を施した。

c. 棚

化学処理エリアで用いるものは、収納力よりも清浄度及び金属を露出させないことを優先して、塩ビ製の観音開きの保管ケースとした。棚板は金属に塗装を施した網状のものである。蝶番は樹脂製であり、これを取り付けている金属ビスはクリアーノーリングで埋めた。また扉を閉状態に保つための金具は取り外し、代わりにマグネットシートをポリエチレンフィルムでカバーしたものをテープで取り付けた。

機器分析エリアでは、分析機器の消耗品等のため収納力が要求されることから、一般の木製化粧板仕上げの器具保管棚を採用した。ただし発塵を防ぐため、内部や裏側等はニス塗装またはテープ貼りを行った。

d. 椅子

クラス 1,000 で機器分析を行う部屋については、市販のクリーンルーム用キャスター付椅子を採用した。化学処理エリア用のものは、キャスター部分等の金属をきらったため、木製の丸形スツールとし、クリアーノーリングのニス塗りを行って発塵を防いだ。また脚の先端部はグレーチングの床で摩耗するのを防ぐため、塗装板のカバーを取り付けた。

なお、クリーンルーム内での什器類等の固定においては、パネル壁は強度の点で使用できないため、原則として床に固定することになる。固定の方法としては、アンカーボルトによるものほか、軽量のものであれば固定具を挿み込む方式も採用した。

付録 6 研究棟の設計・用途の詳細

研究棟の設計にあたり、施設を利用することになる関係者は 40 人程度を想定し、居室の収容人員は 1 スパン (3.2m × 7.2m) 当たり 3 名を想定した。駐車場はその利用人数に対応して約 50 台分を確保している。建家を平屋としたのは、階段や手洗い等を削減でき、スペースを有効に活用できるためである。

各部屋の用途と位置づけは以下の通りである（本文図 2.3(b) 参照）。

- 101 号室（居室）：CTBT 関係者の居室として 2 スパンを割り当てた。
- 102 号室（会議室）：関係者内部の打合せ等を行うために 3 スパンを割り当てた。研究会等の開催にも利用することとなった。
- 103 号室（データ処理室）：1 スパンを情報処理のために割り当てた。ここには情報ネットワークシステムの機器、クリーンルーム入退域管理システム用 PC など、本施設の情報処理の中核機能がおかされることになった。
- 104、107、108 号室（トイレ：男子／身障者／女子）：近年の所内の指導により、管理区域内にトイレを設けることはできなくなっている。そのため本施設におけるトイレは研究棟のもののみである。本施設では紙の使用量を低減するため、トイレにはウォシュレット（身障者用を除く）、手洗いにはエアータオルを設けた。
- 106、109 号室（シャワー：男子／女子）：クリーンルームにおける最大の汚染源は作業者自身であることから⁴⁾、クリーンルーム入室前に身体の汚染を低減するため、男女別にシャワー室を設けた。給湯には、近年の所内の指導では電気温水器が推奨されているが、利用人数に対する温水供給能力の観点から、プロパンガス給湯器を採用した。
- 110 号室、118 号室（ロッカー室：女子／男子）：クリーンルームへの入室に当たり、外部の汚染の持ち込み低減や、クリーンルーム用衣服を着用した際の作業性の観点等から、施設内でクリーンルームの外に更衣室が必要となった。
- 111 号室（仮眠室）、113 号室（和室）：研究活動及び施設の維持管理等で作業が長時間に及んだ場合や体調の優れない場合等に、男女別に休憩が取れるよう、2 室を設けた。和室は小規模の打合せ等にも利用可能である。
- 112 号室（給湯室）：複数の課室で使用できるよう、スペースに余裕を持たせた。なお給湯室では電気温水器を採用した。
- 114 号室（資料室）：保障措置関連等の資料の保管等のために 1 室を設けた。
- 115 号室（放管居室）：本施設の現場放管の拠点として 1 スパンを割り当てた。放射線ダストモニタの監視盤が設置されている。
- 116 号室（倉庫）：実験や施設の維持管理に必要な消耗品等の保管のために 1 スパンを設けた。
- 117 号室（居室）：保障措置関係者の居室として、5 スパンを設けた。設計段階では運用段階における関係者の人数が正確に想定できなかったため、収容人数にフレキシブルに対応でき、必要に応じ数部屋に区切って利用できるよう、大部屋とした。
- 119 号室（居室）：施設管理者の居室及び事務的な機能を持たせる部屋として利用するものと

した。

- 120号室：外部の関係者を招いたセミナー等の開催も可能な「研修室」として設計したが、関係者の居室に用途変更した。
- 121号室（施設監視室）：施設設備の集中監視を行うため2スパンを割り当てた。分析棟の機械設備の中央監視装置が設置されているほか、機械室運転員の居室としての役割も持つ。
- 122号室（玄関ホール）：外部の訪問者に対する施設や研究内容の展示等も可能となるよう、施設の入口に余裕のあるスペースを設けた。なお北西の壁付近には展示用の照明も設けられている。また玄関付近には、副警報盤や自動火災報知設備の複合受信機等が設けられ、建家が施錠されたままでも外部から確認が可能となっている。

このほか居室の設備として、配線等のためのフリーアクセスフロアは採用していないが、電源配線を床に這わせないための代替オプションとして、天井にライティングダクトを設けた（120号室を除く）。また居室（120号室を除く）及びデータ処理室では、パソコン操作における目の負担を軽減するため、照明にルーバーが設けられている。なお研究棟における空調及び換気の設備は、すべて天井埋め込み型のユニットを採用し、手元コントローラにより制御するものとした。

本施設の研究棟では、将来身体障害者が業務に携わることもあるとの想定で、いくつかの対応を施した。前述した身障者用トイレは非常呼出警報付である。また車椅子での出入りの利便性のため、南北の通用口はあえて段差のない設計とした。また駐車場のうち南東の端の2区画は、身障者仕様のスペースとなっている（本文図2.2参照）。

施設の外観の意匠（外壁及び建家名の銘板等）は、所内の指導に基づき周辺施設との調和に配慮したものとした。

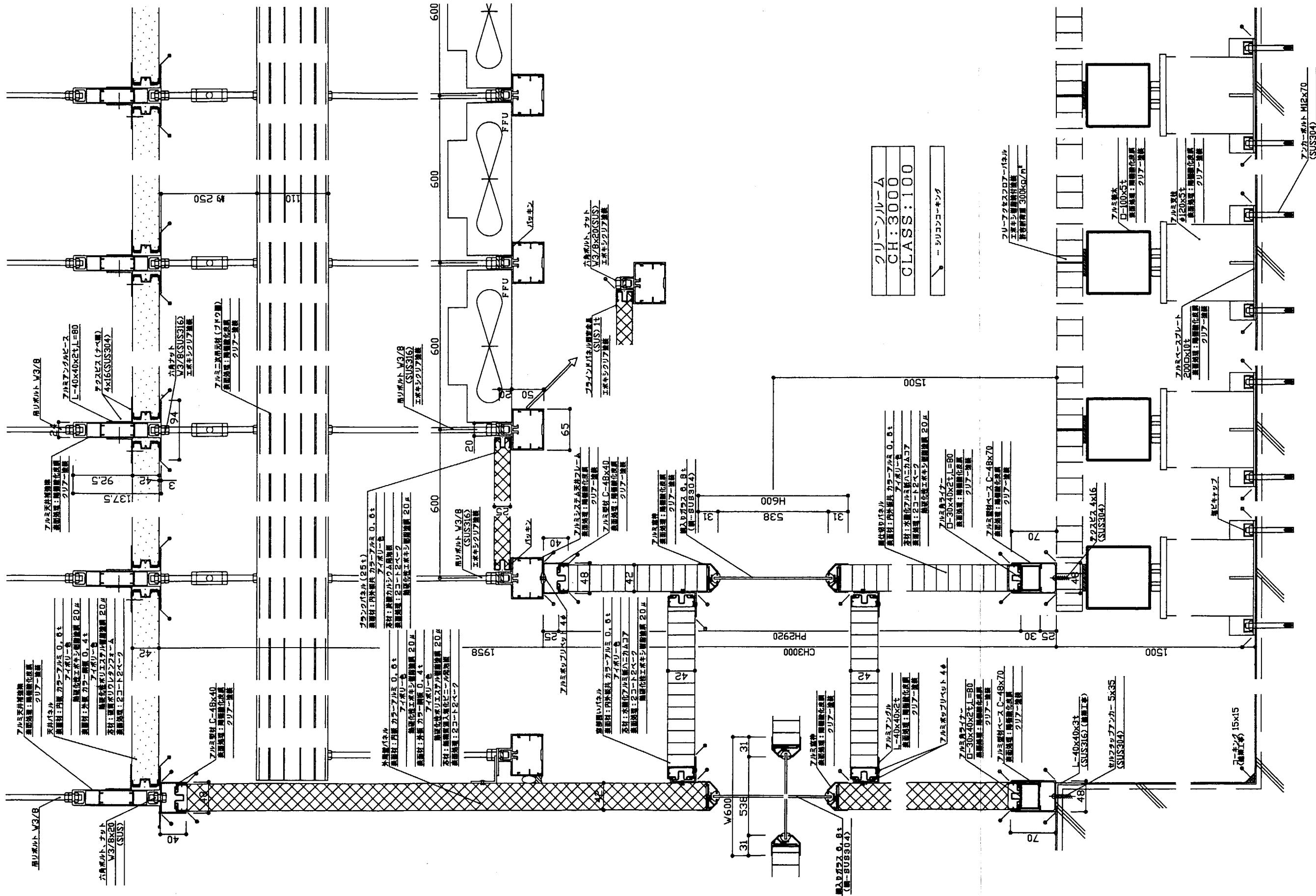


図 A.7.1 クリーンルーム化学処理エリア詳細断面図（機械設備工事）

付録の参考文献

- 1) (社) 日本空気清浄協会(編)：“クリーンルームハンドブック”，オーム社，東京(1989).
- 2) US Federal Standard 209E (1992).
- 3) (社) 日本空気清浄協会(編)：“クリーンルーム環境の施工と維持管理”，オーム社，東京(2000).
- 4) 環境科学フォーラム(編)：“クリーンルームのおはなし”，(財)日本規格協会，東京(2001).

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
圧力、応力	ニュートン	N	m·kg/s ²
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m ²
功率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	クローラン	C	A·s
静電容量	ボルト	V	W/A
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レンントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
0.0980665	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
0.101325	0.103323	1	760		14.6959
1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²	
6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1	

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)	
								= 4.184 J(熱化学)	
1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸		= 4.1855 J(15 °C)	
9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹		= 4.1868 J(国際蒸気表)	
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁶		仕事率 1 PS(仏馬力)	
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹		= 75 kgf·m/s	
1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹		= 735.499 W	
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸			
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1			

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad		
						1	100
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		0.01	1		
	3.7 × 10 ¹⁰	1					

照 射 線 量	C/kg	R		
			1	3876
			2.58 × 10 ⁻⁴	1

線 量 当 量	Sv	rem		
			1	100
			0.01	1

(86年12月26日現在)

原研におけるクリーン化学分析所の整備 高度環境分析研究棟(CLEAR)

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています。