

JAERI-Tech
96-030



大型構造機器実証試験ループ(HENDEL)の 設備概要と運転実績

1996年7月

大内義弘・藤崎勝夫・小林敏明・加藤道雄
太田幸丸・渡辺周二・小林秀樹・茂木春義

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 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公済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領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 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1996

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 株高野高速印刷

大型構造機器実証試験ループ（HENDEL）の設備概要と運転実績

日本原子力研究所大洗研究所核熱利用研究部

大内 義弘・藤崎 勝夫・小林 敏明・加藤 道雄

太田 幸丸・渡辺 周二⁺・小林 秀樹・茂木 春義⁺

(1996年6月5日受理)

大型構造機器実証試験ループ（HENDEL：Helium Engineering Demonstration Loop）は、HTTRの炉内構造物及び高温機器に関する性能及び信頼性を実証する実物大試験装置である。主要設備は、燃料体スタック実証試験部（T₁試験部）、炉内構造物実証試験部（T₂試験部）及び高温ヘリウムガスを試験部に供給するマザー・アダプターループ（M+A）から構成されている。1982年3月に完成したM+Aループは1995年2月までに通算約22900時間の運転を行った。また1983年3月に完成したT₁試験部及び1986年6月に完成したT₂試験部はそれぞれ約19400時間及び16700時間の運転を行ってきた。これによって、HTTRシステムに関する多くの機器特性及び安全特性が実証、確認されるとともに、これらの実証試験の成果は、HTTRの設計、安全審査及び建設に有効に活用された。また、10年以上にわたるHENDELの運転経験により、大型ガスループの運転技術、ヘリウムガスの取り扱い技術及び高温機器の保守技術を確立することが出来た。これらの技術はHTTRの運転に際して活用されるものである。

本報告書は、HENDELの設備の概要、1982年3月から1995年2月までの運転実績及び保守管理の内容についてまとめたものである。

Summary of Facility and Operating Experience
on Helium Engineering Demonstration Loop (HENDEL)

Yoshihiro OUCHI, Katsuo FUJISAKI, Toshiaki KOBAYASHI, Michio KATO
Yukimaru OTA, Syuji WATANABE⁺, Hideki KOBAYASHI and Haruyoshi MOGI⁺

Department of Advanced Nuclear Heat Technology
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received June 5, 1996)

The HENDEL is a test facility to perform full scale demonstration tests on the core internals and high temperature components for the High Temperature Engineering Test Reactor(HTTR). The main systems consist of Mother(M) and Adapter(A), fuel stack Test(T_1) and in-core structure Test(T_2) sections. The (M+A) section can supply high temperature helium gas to the test section.

The M+A section completed in March 1982 has been operated for about 22900 hours till February 1995. The T_1 and T_2 sections, completed in March 1983 and June 1986, have been operated for about 19400 and 16700 hours, respectively. In this period, a large number of tests have been conducted to verify the performance and safety features of the HTTR components. The results obtained from these tests have been effectively applied to the detailed design, licensing procedures and construction of the HTTR. The operating experience of the HENDEL for more than 10 years also brought us establishment of the technique of operation of a large scale helium gas loop, handling of helium gas and maintenance of high temperature facilities. The technique will be available for the operation of the HTTR.

This paper mainly describes the summary of plant facilities, operating experience and maintenance on the HENDEL.

⁺ Department of HTTR Project

Keywords : HENDEL, HTTR, Mother Section, Adapter Section, Test Section,
High-temperature Piping, Helium Gas Circulator, Gas Bearing,
Graphite Component, Operating Experience

目 次

1.	はじめに	1
2.	プラントの概要	2
2.1	M_1 ループ	2
2.2	M_2+A ループ	4
2.3	試験部	9
2.4	精製系	22
2.5	マイクアップ系	33
2.6	冷却水系	36
2.7	電気系	38
2.8	計測制御系	41
2.9	データ処理システム	44
3.	運転実績	46
3.1	各運転サイクルの試験項目と実績	46
3.2	運転の操作手順と条件	69
3.3	不具合の発生と対策	72
3.4	機器の技術開発	80
4.	保守管理	88
4.1	機械装置の保守作業	88
4.2	電気、計測制御系の保守作業	88
謝 辞		89
参考文献		89
付録1 HENDELの運転時間・積算時間		90
付録2 HENDELの運転に伴うヘリウムガスの消費量		93

Contents

1. Introduction	1
2. Summary of Plant Facilities	2
2.1 M ₁ Loop	2
2.2 M ₂ +A Loop	4
2.3 Test Section	9
2.4 Helium Gas Purification System	22
2.5 Make Up System	33
2.6 Water Cooling System	36
2.7 Power Supply System	38
2.8 Instrumentation Control System	41
2.9 Data Treatment System	44
3. Operating Experience	46
3.1 Test Items and Contents on Each Operation Cycle	46
3.2 Procedure and Condition on Operation	69
3.3 Occurrence and Countermeasure of Failure and Trouble	72
3.4 Technology Development for Component	80
4. Maintenance	88
4.1 Maintenance for Mechanical Equipment	88
4.2 Maintenance for Power Supply and Instrumentation Control System	88
Acknowledgements	89
References	89
Appendix 1 Operating and Integrated Time of the HENDEL	90
Appendix 2 Consumption of Helium Gas for Operation of the HENDEL	93

List of tables

Table 1.1 Major specification of the HENDEL	95
Table 2.1 Specification of helium gas heater (H ₁)	96
Table 2.2 Specification of helium gas cooler (C ₁)	97
Table 2.3 Specification of helium gas circulator (B ₁)	98
Table 2.4 Specification of helium gas heater (H ₂)	99
Table 2.5 Specification of helium gas heater (H ₃₁)	100
Table 2.6 Specification of helium gas heater (H ₃₂)	101
Table 2.7 Specification of helium gas cooler (C ₂)	102
Table 2.8 Specification of helium gas cooler (C ₃₁)	103
Table 2.9 Specification of helium gas cooler (C ₃₂)	104
Table 2.10 Specification of helium gas circulator (B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃ , B ₂₄)	105
Table 2.11 List of data file for M+A loop	106
Table 2.12 List of data file for plant instrumentation on T ₁ test section	107
Table 2.13 List of data file for test instrumentation on T ₁ test section	108
Table 2.14 List of data file for plant instrumentation on T ₂ test section	109
Table 2.15 List of data file for test instrumentation on T ₂ test section	109
Table 3.1 Cause and countermeasure of trouble on operation cycles	110
Table 3.2 CO-oxidation temperature characteristics on copper oxide beds	115
Table 3.3 H ₂ -oxidation temperature characteristics on copper oxide beds	116
Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment)	117
Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system)	124

List of Figures

Fig. 2.1 Basic system diagram of the HENDEL	133
Fig. 2.2 Cooling water system	134
Fig. 2.3 Power supply system	135
Fig. 2.4 Structure of helium gas heater (H ₁)	137
Fig. 2.5 Structure of helium gas cooler (C ₁)	138
Fig. 2.6 Structure of helium gas circulator (B ₁)	139
Fig. 2.7 Structure of helium gas heater (H ₂)	141
Fig. 2.8 Structure of helium gas heater (H ₃₁)	143
Fig. 2.9 Structure of helium gas heater (H ₃₂)	144
Fig. 2.10 Structure of helium gas cooler (C ₂)	145
Fig. 2.11 Structure of helium gas cooler (C ₃₁)	146
Fig. 2.12 Structure of helium gas cooler (C ₃₂)	147
Fig. 2.13 Structure of helium gas circulator (B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃ , B ₂₄)	149
Fig. 2.14 Structure of T _{1-S} test section	151
Fig. 2.15 Structure of T _{1-M} test section	152
Fig. 2.16 Structure of T ₂ test section	153
Fig. 2.17 Helium gas purification system	155
Fig. 2.18 Helium gas purification system (M ₁ -loop)	157
Fig. 2.19 Configuration of data acquisition system of the HENDEL	159
Fig. 2.20 Configuration of SRM-system	160
Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL	161
Fig. 3.2 Sequens flow chart of M+A+T ₁	233
Fig. 3.3 Sequens flow chart of M+A+T ₂	237
Fig. 3.4 Comparison of volume effects on helium compressor	241
Fig. 3.5 Helium gas purification test system	242
Fig. 3.6 CO-oxidation characteristic on copper oxide beds	243
Fig. 3.7 H ₂ -oxidation characteristic on copper oxide beds	244

1. はじめに

日本原子力研究所（原研）は、現在、高温ガス炉技術の基盤の確立と高度化を図るとともに高温工学に関する先端的基礎研究を行うために熱出力30MW、原子炉出口冷却材温度850°C（高温試験運転時950°C）の高温工学試験研究炉（HTTR）を平成9年度の臨界を目指して建設中である。

大型構造機器実証試験ループ（HENDEL:Helium Engineering Demonstration Loop）は、HTTRの原子炉圧力容器、燃料体、炉床部構造物等の炉内構造物及びヘリウムガス循環機、中間熱交換器、高温配管等の系統機器の性能及び信頼性に関する各種の実証試験データを、HTTRと同様の運転条件下で取得するために建設された大型高温高圧ヘリウムガスループである。HENDELの主要設備は、燃料体スタック実証試験部（T₁試験部）、炉内構造物実証試験部（T₂試験部）、最高温度1000°C、最高圧力4MPaのヘリウムガスを最大流量4kg/sで試験部に供給するマザー・アダプターループ（M+A）及び、これらの運転制御系、ヘリウムガス精製系、冷却水系等から構成されている。

M+A系統は、1982年3月に完成し、以来計画運転を続け1995年2月までに、通算約22900時間の運転を行い、ヘリウムガス循環機、加熱器、冷却器、高温配管等の性能に関する実証データを取得するとともに、高温ガス炉に関する多くの運転経験を蓄積してきた。T₁試験部は、1983年3月に完成し、標準燃料棒、高性能燃料棒、燃料体の伝熱流動試験を行い、燃料チャンネルの圧力損失及び燃料棒の熱伝達率等、炉心設計に必要な特性データを取得し設計の妥当性を確認した。T₂試験部は、1986年6月に完成し、炉床部構造物の伝熱流動特性、黒鉛ブロック間ヘリウムガスシール特性、高温ヘリウムガス混合特性、断熱特性等を確認するとともに圧力容器の製作性、健全性を確認し、構造設計が妥当であることを確認した。これらの実証試験の成果は、HTTRの設計、安全審査及び建設に有効に活用された。また、10年以上にわたるHENDELの運転経験により、大型ガスループの運転技術、ヘリウムガスの取り扱い技術及び高温機器の保守技術を確立することが出来た。これらの技術はHTTRの運転に際して活用されるものである。

HENDELでは、平成5年度と6年度の保全管理の後、7年度にHTTRの機能試験関連試験、8年度にT₂試験部を利用した一次冷却系水侵入事故模擬試験等を行い、運転を終了する計画である。その後は、10年度から予定されているHTTR熱利用炉外実証試験装置の高温熱供給系として一部の設備の有効、再利用を図っていく計画である。

HENDELの設備の概要については、既に系統毎の要約が公開^{1)~3)}されているが、本報告ではこれらの設備を体系的に整理し、まとめて述べる。

また、HENDELの運転開始から主に試験部を用いてHTTRの高温機器の実証試験のために運転を行った期間（1982年3月から1995年2月）について、その運転実績及び保守管理の内容について述べる。

2. プラントの概要

HENDELは、HTTRの主要構成部である炉心部、炉床部、高温配管及び高温機器等の高温実証試験を実施するために設置されたものである。本試験装置は、マザーループ（M）、アダプターセクション（A）、燃料体スタック実証試験部（T₁試験部）及び炉内構造物実証試験部（T₂試験部）より構成されている。マザー・アダプターラープ（M+A）は、試験条件に設定された高温高圧のヘリウムガスを各試験部に供給する主ループと、ヘリウムガスの供給、回収、及び圧力制御を行うメカアップ系（Mu）、ヘリウムガス中の不純物を除去する精製系（Mp）、電気計装設備（In）、冷却水設備（Uc）等から成る。HENDELの主要仕様をTable 1.1に示す。また、基本系統図をFig. 2.1に、冷却水設備の系統図をFig. 2.2に、電源設備の系統図をFig. 2.3に示す。

2. 1 M₁ ループ⁴⁾

2. 1. 1 概 要

本ループは、HTTR炉心部の伝熱流動等に関する諸特性試験を実施することを目的としたT₁試験部に、高温高圧のヘリウムガスを供給するための装置である。試験の遂行上、温度（最高400℃）、圧力（最高40kg/cm²G）、流量（最高0.4kg/s）及びその他の運転条件の設定は、かなり広範囲に設定可能であることが要求され、また、T₁試験部の試験条件変更もかなり頻繁に行われるため、設定条件の変更操作が容易であることが必要である。さらにT₁試験部では、1チャンネル及び多チャンネル試験の実施に伴い、試験体の組替え、交換を短い周期で行う必要があるため、M₁ループはM₂+Aループとは独立した運転ができる設計になっており、その運転制御は小型ヘリウムガス試験ループ並の容易さである。

本ループは、循環機（B₁）、加熱器（H₁）、冷却器（C₁）、混合タンク（MT₁）、フィルター（F₁）、各種計測器、弁、配管等より構成されている。メカアップ系統（Mu系）及び精製系統（Mp系）とは、混合タンクMT₁を介して接続されており、M₁ループの圧力制御は、Mu系からのヘリウムガスの供給及び回収により行われる。また、M₁ループ内で発生した不純物ガスは、混合タンクMT₁からヘリウムガスの一部を不純物精製装置に抽出し除去する構成になっている。

ヘリウムガスは、B₁により送り出され、H₁により所定温度に昇温されたのちT₁試験部に流入する。昇温されたヘリウムガスは、T₁-S及びT₁-Mの入口流量調整弁とT₁試験部のバイパス弁の調整により所定の流量に制御される。試験条件に制御されたヘリウムガスは、T₁-S及びT₁-Mに流入し、それぞれの装置に装荷された模擬燃料棒により最高1000℃まで加熱され、各種実証試験に供される。試験体を出たヘリウムガスは、試験部下部に内蔵された冷却器及びM₁ループのC₁によりM₁ループの運転条件まで冷却される。冷却されたヘリウムガスは、F₁を経て再びB₁に戻る流路構成になっている。

2. 1. 2 主要構成機器

（1）加熱器H₁

加熱器H₁は、M₁ループ内を循環するヘリウムガスを所定の温度に設定するために設置されたものである。B₁から送り出され、流量調節弁及び流量計により所定の流量に設定されたヘリウムガ

スは、加熱器下部の入口ノズルから流入し、下部プレナム部と上部プレナム部を連絡する伝熱管によって加熱され、容器上部の出口ノズルから流出する構造になっている。

圧力容器の寸法は、直径約1.3mで、設計温度及び圧力は、それぞれ500°C及び45kg/cm²Gである。また圧力容器からの放熱防止対策として外部保温方式を採用している。Table 2.1に加熱器H₁の機器仕様を示す。また、Fig. 2.4に全体構造図を示す。

(2) 冷却器C₁

冷却器C₁は、M₁ループ単独運転時には、H₁において加熱されたヘリウムガスを除熱し、T₁試験部との接続運転時は、T₁試験部より戻される高温のヘリウムガスをB₁入口の温度条件に合致するように除熱するためのものである。

本冷却器は、U字管を使用したシェルアンドチューブ切り欠きバッフル形熱交換器である。

Table 2.2に冷却器C₁の機器仕様を、Fig. 2.5に全体構造図を示す。

(3) 循環機B₁

ガス循環機B₁は、T₁試験部にヘリウムガスを循環させる目的で設置されたものである。本循環機は、系統の単純化、ヘリウムガスへの不純物の混入及びヘリウムガスの外部への漏洩防止等を目的として、密封形、動圧ガスペアリング形循環機とした。また、比較的小流量のヘリウムガスを高ヘッドで流す必要があるため再生式とした。Table 2.3に循環機B₁の機器仕様を、Fig. 2.6に全体構造図を示す。

(4) フィルタ-F₁

フィルタ-F₁は、B₁への固形不純物の流入を防止することを目的にMT₁とB₁の間に設置されたものである。本フィルターは、構造が簡単で保守も容易に行えることから、カートリジ形のエレメントを採用している。フィルターには、7本のエレメントが内蔵されている。エレメントは、5層の鋼性金網を円筒状に成形加工したもので、5層のうち、2層はエレメントの補強層、他の3層のうち、1層が固形不純物を濾過するファインメッシュ層で、その両側は2層の保護金網により防護されている。フィルターF₁の主な仕様は次の通りである。

形 式	: 壱型円筒
流 量	: 0.4 kg/s (40kg/cm ² G, 400°C)
エレメント形式	: 焼結金属
濾過精度	: 5 μm
設計圧力	: 45 kg/cm ² G
設計温度	: 450 °C
材 質	: エレメント ; SUS316 圧力容器 ; STPA22S/SFHV22B
寸 法	: 約318 ^ø ×10.3 ^t ×1200 ^l
保 温	: 外部保温

(5) 混合タンクMT₁

混合タンクMT₁は、B₁の入口側に設置され、C₁を通過したヘリウムガス、C₁をバイパスしたヘリウムガス、精製系(Mp)から流入したヘリウムガスの混合を行う機能とMp系へのガスの抽出及びマークアップ系(Mu)によるM₁ループの圧力調整に伴うヘリウムガスの流入、抽出による圧力脈動を減少させる機能を有している。容量約1m³の横置円筒型タンクで、外部保温により熱損失を少なくする構造になっている。

混合タンクMT₁の主な仕様は次の通りである。

形 式	: 円筒型
容 量	: 約1m ³
設計圧力	: 45 kg/cm ² G
設計温度	: 450 °C
材 質	: SCMV2
寸 法	: 約740 ^{OD} ×20 ^t ×3000 ^L
保 温	: 外部保温

(6) 配管、弁類

M₁ループのヘリウム系主配管は、寸法114.3^{OD}×6.0^tの単管を使用したもので、内部を高温のヘリウムガスが流れるため外部に保温材を施工し放熱防止を図っている。配管材としては、配管用合金鋼钢管(STPA22)及び高温配管用炭素鋼钢管(STPT38)を用い、ヘリウムガスの漏洩を防止するため溶接継手を採用した。また、外部保温材としては、硅酸カルシウムを90~110mmの厚さに施工した。

ヘリウム配管系の弁類は、系統外へのヘリウムガスの漏洩が無いペローシール方式を採用し、流量調節及び系統の流路構成に使用される。M₁ループの流量調節弁の主な仕様を以下に示す。

設計圧力	: 45 kg/cm ² G
設計温度	: 450 °C
定格CV値	: 113
ストローク	: 38.1 mm
全開と全閉に要する時間	: 30~37 s

2. 2 M₂+Aループ

2. 2. 1 概 要

本ループは、T₂試験部に高温高圧のヘリウムガスを供給するための装置で、M₂ループとアダプターセクション(A)から構成されており、本ループへのヘリウムガスの供給、回収、不純物の精製及び除熱等は、それぞれMu系、Mp系、Uc系等の補助系統により、M₁ループと同様に行われる。

M₂ループは、最大流量4kg/sのヘリウムガスを直並列に配置した4台のガス循環機(B₂₁, B₂₂, B₂₃, B₂₄)で循環し、加熱器(H₂)で400°Cまで加熱する。昇温されたヘリウムガスは、T₂試験部により各種特性試験に供されたのち、冷却器(C₂)を経て循環機に戻る循環ループと、弁の切

替操作によりアダプターセクションに送られ、さらに高温まで加熱し、T₂試験部による高温試験に供される循環ループにより構成されている。

アダプターセクションは、M₂ループから供給される400℃のヘリウムガスを加熱器（H₃₁, H₃₂）により1000℃まで加熱してT₂試験部に供給するとともに、試験部から戻る高温のヘリウムガスを冷却器（C₃₁, C₃₂）により400℃まで冷却し、M₂ループに戻す構成になっている。

M₂+Aループの運転流路としてはM₂ループで構成されるB₂₁, B₂₂, H₂, C₂を循環する系統、M₂ループとアダプターセクションで構成されるB₂₁, B₂₂, H₂, H₃₁, H₃₂, C₃₁, C₃₂を循環する系統及び主として、アダプターセクションで構成されるB₂₃, B₂₄, H₃₁, H₃₂, C₃₁, C₃₂を循環する系統の3通りの流路構成がある。

2. 2. 2 主要構成機器

(1) 加熱器H₂

加熱器H₂は、T₂試験部の低温側に供給するヘリウムガスを所定の温度に昇温するためにM₂ループに設置されている。ヘリウムガスは、容器下部より流入し、容器内部に組み込まれたヒータエレメントにより加熱され、容器上部より試験部に送られる構造になっている。本加熱器の定格伝熱量は、2MWである。ヒータエレメントは、直接通電式パイプヒータであり、ヘリウムガスは、円管内を通過することにより、所定の温度に昇温される。エレメントの材質は、出口ヘリウムガス温度が最高450℃であることから、インコロイ800Hを用いている。Table 2.4に加熱器H₂の機器仕様を示す。また、Fig. 2.7に構造図を示す。

(2) 加熱器H₃₁

加熱器H₃₁は、T₂試験部の高温側に供給するヘリウムガスを所定の温度に昇温するために、AループのH₃₂上流側に設置されている。ヘリウムガスは、容器下部より流入し、容器内部に組み込まれたヒータエレメントにより加熱され、容器上部よりH₃₂へ送られる構造になっている。本加熱器の定格伝熱量は4.7MWである。ヒータエレメントは、直接通電式パイプヒータであり、ヘリウムガスは円管内を通過することにより所定の温度に昇温される。エレメント材質は、出口ヘリウムガス温度が最高720℃であることから、インコロイ800Hを用いている。圧力容器は、設計温度が350℃であるため、内部断熱及び水冷ジャケットによる外部冷却方式を採用し、圧力容器の放熱防止と耐圧壁の保護を図っている。Table 2.5に加熱器H₃₁の機器仕様を示す。また、Fig. 2.8に構造図を示す。

(3) 加熱器H₃₂

加熱器H₃₂は、T₂試験部の高温側に供給するヘリウムガスを試験条件に設定するために、H₃₁の下流側に設置されている。ヘリウムガスは、容器下部より流入、加熱され、容器上部より試験部に送られる構造になっている。本加熱器の定格伝熱量は、4.36MWである。ヒータエレメントは、直接通電式パイプヒータであり、ヘリウムガスは、円管内を通過することにより所定の温度に昇温される。エレメントの材質は、出口ヘリウムガス温度が最高1000℃であり、エレメント温度が約1300℃に達すると推定されるため耐熱材料である黒鉛を採用した。圧力容器の設計温度は300℃

であり、内部断熱及び水冷ジャケットによる外部冷却方式とした。Table 2.6に加熱器H₃₂の機器仕様を示す。また、Fig. 2.9に構造図を示す。

(4) 冷却器C₂

冷却器C₂は、T₂試験部より戻される高温のヘリウムガスをガス循環機入口の温度条件に合致するように除熱するためのものである。本冷却器は、U字管を使用したシェルアンドチューブ切欠きバッフル形熱交換器である。伝熱管外にヘリウムガスを、管内に冷却水を流す定格伝熱量2.3MWの冷却器である。Table 2.7に冷却器C₂の機器仕様を示す。また、Fig. 2.10に構造図を示す。

(5) 冷却器C₃₁

冷却器C₃₁は、H₃₁、H₃₂及びT₂試験部で加熱昇温されたヘリウムガスをC₃₂とともに除熱するもので、C₃₂の上流側に設置されている。入口ヘリウムガス温度は、最高1000°Cと高温になるため、ヘリウムガスの冷却には、圧力37kg/cm²Gの純水処理を行った加圧冷却水を使用している。本冷却器は、直管を使用したシェルアンドチューブ・ステップアップバッフル形熱交換器である。伝熱管外に高温ヘリウムガスを、管内に加圧冷却水を流した冷却器で、定格伝熱量は6.7MWである。圧力容器は、内部断熱及び水冷ジャケットによる外部冷却方式を採用している。Table 2.8に冷却器C₃₁の機器仕様を示す。また、Fig. 2.11に構造図を示す。

(6) 冷却器C₃₂

冷却器C₃₂は、C₃₁により冷却されたヘリウムガスをさらに除熱するため、C₃₁の下流側に設置されている。本冷却器は、U字管を使用したシェルアンドチューブ切欠きバッフル形熱交換器である。伝熱管外に高温ヘリウムガスを、管内に冷却水を流した冷却器で、定格伝熱量は3.5MWである。圧力容器は、内部断熱及び水冷ジャケットによる外部冷却方式を採用している。Table 2.9に冷却器C₃₂の機器仕様を示す。また、Fig. 2.12に構造図を示す。

(7) 循環機B₂₁、B₂₂、B₂₃、B₂₄

循環機B₂₁、B₂₂、B₂₃、B₂₄は、T₂試験部に所定流量のヘリウムガスを供給する目的で、M₂ループに設置されている循環機である。本循環機は、系統の単純化、ヘリウムガスへの不純物の混入及びヘリウムガスの外部への漏洩防止等の観点から、密閉性、動圧ガススペアリングタイプが用いられている。同型の4台の循環機により、ヘリウムガス流量4kg/sの状態で各1kg/cm²の昇圧が可能である。Table 2.10に循環機B₂₁、B₂₂、B₂₃、B₂₄の機器仕様を示す。また、Fig. 2.13に構造図を示す。

(8) フィルターF₂₁、F₂₂

フィルターF₂₁、F₂₂は、ガス循環機等の主要機器に障害を与える固形不純物の除去を目的に設置されたものである。本フィルターは、上部フランジ形でエレメントの交換が容易な構造になっており、M₂ループ低温側系統及び高温側系統のヘリウムガス循環機の前に設置されている。各フィルターには、焼結金属製エレメントがそれぞれ49本組み込まれている。フィルターF₂₁、F₂₂の

主な仕様は次の通りである。

形 式	:	豎型円筒
流 量	:	4 kg/s (40kg/cm ² G, 400°C)
エレメント形式	:	焼結金属
濾過精度	:	5 μm
設計圧力	:	45 kg/cm ² G
設計温度	:	450 °C
材 質	:	エレメント : SUS316 圧力容器 : A387Gr22
寸 法	:	エレメント : 54 ^{OD} × 3.3 ^I × 2000 ^L 圧力容器 : 632 ^{OD} × 16 ^I × 3920 ^L
保 温	:	外部保溫

(9) 混合タンクMT₂₁, MT₂₂

混合タンクMT₂₁は、M₂ループ低温側系統のB₂₁の入口側に設置され、C₂を通過したヘリウムガス、C₂をバイパスしたヘリウムガス、精製系(Mp)から流入したヘリウムガスの混合を行う機能とMp系へのガスの抽出及びマークアップ系(Mu)によるM₂ループ低温側系統の圧力調整に伴うヘリウムガスの流入、抽出による圧力脈動を減少させる機能を有している。容量約0.14m³のヘッダー形式のタンクで、外部保溫により熱損失を少なくする構造になっている。MT₂₂は、M₂ループ高温側系統のB₂₃の入口側に設置され、容量約0.53m³の円筒横置形式のタンクである。混合タンクMT₂₁, MT₂₂の主な仕様は次の通りである。

種 類	:	MT ₂₁	MT ₂₂
形 式	:	ヘッダー型	円筒横置型
容 量	:	0.14m ³	0.53m ³
設計圧力	:	45 kg/cm ² G	45 kg/cm ² G
設計温度	:	450 °C	450 °C
材 質	:	STPA22	STPA22
寸 法	:	250 A × 2838 L	500 A × 3510 L
保 温	:	外部保溫	外部保溫

(10) 配管、弁類

M₂+Aループの主配管は、寸法267.4^{OD} × 9.3^Iの単管を使用しており、内部を高温のヘリウムガスが流れるため外部に保溫材(珪酸カルシウム)を施工し熱損失を極力小さくしている。配管材としては、配管用合金鋼钢管(STPA22)を使用し、ヘリウムガスの漏洩を防止するため溶接継手を採用した。ヘリウム配管系の弁類は、系統外へのヘリウムガスの漏洩が無いベローシール方式を採用し、流量調節及び系統の流路構成に使用される。

(1 1) M₂+A加圧冷却水系

M₂+Aループには、T₂試験部等で加熱昇温されたヘリウムガスを運転温度まで冷却するためC₃₁が設置されている。この冷却器は、冷却水の沸騰を避けかつヘリウムガス側への水分の浸入を防ぐため運転圧力37kg/cm²Gに加圧された純水が使用されている。本加圧水系は、C₃₁より流出した高温の冷却水の熱除去を行うための第一段及び第二段水/水冷却系、加圧水を循環させる循環ポンプ、冷却水を窒素ガスにより所定の圧力にする加圧器、加圧水を供給する補給水ポンプ等の加圧冷却水設備、加圧冷却水の脱気とPHコントロールによる水質管理のためにヒドラジンを注入するヒドラジン注入ポンプ、ヒドラジンタンク及び配管、弁類の薬液注入設備及び純水製造設備等から構成される。以下に、M₂+A加圧冷却水系の主な機器の仕様を示す。

(a) 水/水冷却器C₃₃, C₃₄

種類	第一段水/水冷却器 (C ₃₃)	第二段水/水冷却器 (C ₃₄)
形式	シェルアンドチューブ 切欠きパッフル型	シェルアンドチューブ 切欠きパッフル型
流体	1次側（胴側）：加圧冷却水 2次側（管側）：冷却水	加圧冷却水 冷却水
流量	1次側（胴側）：26.6kg/s 2次側（管側）：40kg/s	26.6kg/s 40kg/s
圧力	1次側（胴側）：37kg/cm ² G 2次側（管側）：3kg/cm ² G	37kg/cm ² G 3kg/cm ² G
温度	1次側入口/出口 110°C/68.2°C 2次側入口/出口 32°C/59°C	68.2°C/50°C 32°C/45°C
設計圧力	45kg/cm ² G	45kg/cm ² G
設計温度	1次側150°C, 2次側70°C	1次側150°C, 2次側70°C
伝熱量	4.7 MW	2.0 MW
材質	伝熱管 C4430T 圧力容器SB42	伝熱管 C4430T 圧力容器SB42

(b) 循環ポンプWP₃₁, WP₃₂

形式	横置遠心ポンプ
吐出量	110 t/h
揚程	15 m
吸込圧力	37 kg/cm ²
温度	50 °C
回転数	1450 rpm

(c) 加圧器WT32

形式	縦形円筒式
容積	1 m ³
設計圧力	45 kg/cm ² G
設計温度	300 °C

(d) 気水分離器WT31

形 式 : 縦形円筒式
 容 積 : 0.5 m^3
 設計圧力 : $45 \text{ kg/cm}^2 G$
 設計温度 : 150°C

(e) 補給水ポンプWP₃₃、WP₃₄

形 式 : 往復動式プランジャーポンプ
 吐出量 : $2 \text{ m}^3/\text{h}$
 吐出圧力 : 40 kg/cm^2

(f) ヒドラジン注入ポンプCP₃

形 式 : 往復動式プランジャーポンプ
 流 体 : ヒドラジン
 吐出量 : $0 \sim 16.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$
 吐出圧力 : 40 kg/cm^2

2. 3 試験部

2. 3. 1 概 要

HENDELには、2つの試験部があり、1983年3月に建設されたT₁試験部では、HTTRの燃料体を模擬した構造モデルにより炉心部冷却流路1チャンネル及び12チャンネルの伝熱流動試験、制御棒駆動装置の信頼性試験等を実施した。また、1986年6月に建設されたT₂試験部では、HTTR炉床部の固定反射体間のヘリウムガスシール性能に関する冷却材漏洩試験、炉床部の伝熱特性試験、冷却材混合特性試験、冷却材強制循環停止後の炉床部構造物の健全性試験等を実施した。以下に、T₁及びT₂試験部の概要及び機器構成を示す。

2. 3. 2 T₁試験部の概要

T₁試験部は、冷却流路1チャンネルを模擬した1チャンネル試験装置（T₁-S）と燃料体1カラム（12チャンネル）を模擬した多チャンネル試験装置（T₁-M）から構成され、所定の圧力、温度、流量に制御されたヘリウムガスをM₁ループから供給される。M₁ループにより温度、圧力等を試験条件に設定されたヘリウムガスは、T₁試験部入口流量調整弁及びT₁試験部バイパス弁の調整により所定の流量に制御される。試験条件に設定されたヘリウムガスは、T₁-S及びT₁-Mの上部から流入し、それぞれの試験体に装荷された模擬燃料棒に沿って下向きに流れ、最高1000°Cまで加熱昇温される。試験体を出たヘリウムガスは、試験容器に内蔵された冷却器により運転条件まで冷却され、M₁ループに戻される。T₁試験部に供給されるヘリウムガスの圧力制御及び不純物除去は、M₁ループに設置されているMT₁を経由して、それぞれMu系、不純物精製装置の共通補助系により行われる。T₁-S及びT₁-Mには模擬燃料棒により最高1000°Cに加熱されたヘリウムガスを冷却するための冷却器が内蔵されている。内蔵冷却器に加圧水を供給する加圧水系は、冷却水の沸騰を避けかつヘリウムガス側への水分の浸入を防ぐため運転圧力37kg/cm²Gに加圧された純水を用いており、その機器構成は、加圧水/水冷却器、加圧器、加圧水循環ポンプ、供給ポンプ、薬注ポンプ等より

成っている。また、試験部のヘリウムガス置換を行うための真空ポンプ、配管弁より成る真空系が設置されている。T₁-S及びT₁-Mの主要機器構成を以下に示す。なお、T₁-S及びT₁-Mの模擬模擬燃料棒及びT₁-S模擬制御棒等の試験体構造については、文献⁵⁾を参照されたい。

(1) 1チャンネル試験装置 (T₁-S) の主要機器構成

1チャンネル試験装置 (T₁-S) は、補償ヒータブロック、内蔵冷却器、上部空間補償ヒータ、伝熱流動試験装置、制御棒駆動信頼性試験装置等を収納した圧力容器及び加圧冷却水設備、配管弁、電気計装設備等より構成されている。

伝熱流動試験装置は、冷却チャンネルを模擬する流路管、これに装荷された模擬燃料棒、さらに試験体からの熱損失を補うための補償ヒータブロック及び温度、圧力等を測定する計測器等で構成される。試験体上部のヘリウムガス入口にはガス温度の微調整を行うための上部空間補償ヒータ及び試験体下部のヘリウムガス出口には最高1000°Cに加熱されたヘリウムガスをM₁ループ運転温度以下に冷却するための内蔵冷却器が設置されている。

Fig. 2.14にT₁-S試験装置の構造図を示す。以下に、T₁-S試験装置を構成する主な機器の概要を示す。

1) 圧力容器

形 式	: 橫型円筒
内 容 積	: 約12m ³
主要寸法	: 1258 ^{OD} (水冷ジャケット外側) × 13256 ^L
主要材質	: 胴体; SB49, 胴フランジ; SF45
使用流体	: ヘリウムガス
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 100°C (水冷部)

2) 伝熱流動試験用流路管

流路管は、ヘリウムガス出口温度750°Cまでの中温試験においてはハステロイX製を、1000°Cまでの高温試験ではインコロイ800製のものが使用された。流路管の形状は、内径53mmの模擬冷却流路を有する全長6370mmの円筒形で、中心部に外径46mmの模擬燃料棒が挿入される。冷却材(ヘリウムガス)は、流路管と模擬燃料棒の隙間の環状流路を下降しながら模擬燃料棒により加熱される。流路管の外側は、断熱材により被覆され、さらに試験体の半径方向への熱損失の低減を図るために補償ヒータブロックが設置されている。流路管の主な仕様は次の通りである。

形 式	: 中空円筒外面断熱型
流 体	: ヘリウムガス
寸 法	: 内径 53mm, 肉厚 7mm, 有効流路長さ 6370mm 外側断熱材厚み 約60mm
主要部材質	: インコロイ800

3) 補償ヒータブロック

補償ヒータブロックは、模擬燃料棒の入口、出口を含め全10段の構成になっており、流路管表面温度とブロック内面温度が等しく成るように各段のヒータ出力を独立制御方式により自動制御し、半径方向への熱損失を防止している。その構造は、コージライト ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) 製の

断熱ブロック、その外側にカンタルヒータ発熱体、断熱材及び金属ケーシングで覆われた形状になっている。補償ヒータブロックの主な仕様は次の通りである。

形 式	: 円筒型電気加熱式
出力制御方式	: 軸方向9段分割制御方式
最高使用温度	: 1000°C
主要材質	: 断熱ブロック コージライト ヒータ カンタルA-1
ケーシング材質	: SUS304
最大入力	: 3.9kW×2, 7.8kW×8
寸 法	: 700 ^{OD} ×6270 ^L

4) 上部空間補償ヒータ

流路管入口部には、試験体入口ヘリウムガス温度の微調整用の上部空間補償ヒータが設置されている。本ヒータは、SUS304製の円管内にシースヒータを格納した構造で、円管の周囲にはマイクロヒータが巻き付けられ、さらに断熱材で被覆されている。ヒータの発熱量は最大9kWである。

5) 内蔵冷却器

流路管出口部には、二重管式の内蔵冷却器が設置されている。二重管の内側をヘリウムガス、外側を加圧冷却水が流れ、外側流路にはスパイラルフィンを設置し対流熱伝達の促進を図る構造になっている。この内蔵冷却器に流入した1000°Cのヘリウムガスは、ここで200°C以下に冷却されM₁ループに戻る。内蔵冷却器の主な仕様は次の通りである。

形 式	: 加圧水式水管ガス冷却器
使用流体	: 1次側/ヘリウムガス, 2次側/加圧冷却水
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 1次側入口/出口 1000/400°C 2次側入口/出口 50/150°C
設計伝熱量	: 100kW

6) T₁-S加圧冷却水系機器

以上に示した構成機器のほかに、1チャンネル試験装置(T₁-S)では、試験体より流出する高温のヘリウムガスをM₁ループの運転温度に冷却するため試験体出口に内蔵冷却器を設けている。この内蔵冷却器は、冷却水の沸騰を避けかつヘリウムガス側への水分の浸入を防ぐため運転圧力37kg/cm²Gに加圧された純水が使用されている。T₁-S加圧水系は、内蔵冷却器より流出した高温の冷却水の熱除去を行う水/水冷却系、加圧水を循環させる循環ポンプ、冷却水を窒素ガスにより所定の圧力にする加圧器、加圧水を供給する補給水ポンプ、加圧冷却水の脱気とPHコントロールによる水質管理のためにヒドラジンを注入する薬注ポンプ及び配管、弁類から構成される。以下に、T₁-S加圧冷却水系の主な機器の仕様を示す。

(a) 水/水冷却器1C102

形 式	: シェルアンドチューブ横置型
流 体	: 1次側(胴側) : 加圧冷却水 2次側(管側) : 冷却水
流 量	: 1次側(胴側) : 0.239kg/s 2次側(管側) : 2.39kg/s

圧 力	:	1次側(胴側) : 37kg/cm ² G	2次側(管側) : 3kg/cm ² G
温 度	:	1次側入口/出口 150°C/50°C	
	:	2次側入口/出口 32°C/42°C	
設計圧力	:	45kg/cm ² G	
設計温度	:	200°C	
伝 热 量	:	8.6×10^4 kcal/h	
材 質	:	管側STBA228, 脇側STPT38	

(b) 循環ポンプ1WP101, 1WP102

形 式	:	横置遠心ポンプ
吐 出 量	:	2.4 m ³ /h
揚 程	:	15 m
吸込圧力	:	37 kg/cm ²
温 度	:	50 °C

(c) 加圧器1WT101

形 式	:	縦形円筒型
容 積	:	0.308 m ³
設計圧力	:	45 kg/cm ² G
設計温度	:	300 °C

(d) 補給水ポンプ1WP103

形 式	:	往復動式プランジャーポンプ
吐 出 量	:	0.24 m ³ /h
吐出圧力	:	40 kg/cm ²

(e) 薬注ポンプ1CP101

形 式	:	往復動式プランジャーポンプ
吐 出 量	:	0.78×10^{-3} m ³ /h
吐出圧力	:	40 kg/cm ²

HTTR炉心の重要な構成要素である反応制御系については、HTTR運転条件と同じ高温高圧のヘリウムガス雰囲気中で実証試験を行う必要があった。このため、T₁-S試験部に制御棒駆動装置信頼性試験装置を附加して、実証試験を行った。

制御棒駆動装置信頼性試験装置は、T₁-S圧力容器の頂部に接続され、T₁-Sを通して40kg/cm²のヘリウムガスが供給される。本試験装置は、圧力容器、制御棒駆動装置(CRDM)、模擬制御棒(C/R)、模擬スタンドパイプ(S/P)、内部遮蔽体、予熱ヒータ、ヒータ付き案内管及び流路管、パネルヒータ及び計測制御系等から構成されている。C/Rは、CRDMのワイヤーロープで吊り下げられ、案内管を介して流路管に挿入される。C/Rの駆動距離は最大4060mmである。案内管に流入するヘリウムガスは、予熱ヒータにより最高450°Cまで加熱され、また、案内管及び流路管に巻き付けたヒータによりHTTR炉心部の温度条件を模擬する構造になっている。

7) 制御棒駆動装置信頼性試験用圧力容器

制御棒駆動装置信頼性試験用圧力容器は、CRDMを格納する格納用圧力容器とT₁-S試験容器に格納容器を接続する接続用圧力容器に分けられる。格納用圧力容器は、設計温度が400°C、設計圧力45kg/cm²Gで、円筒部の寸法が外径612mm、肉厚26mm、高さ3620mm、材質SB42の高圧法兰付き豊型円筒容器である。本容器には、上部に気密貫通法兰が設けられており、格納されているCRDMの駆動用電源ケーブル、熱電対ケーブル、圧力測定用導圧管等が引き出されている。接続用圧力容器を介してT₁-S試験容器に接続され、CRDM信頼性試験に使用される。接続用圧力容器は、格納用圧力容器と同じく設計温度400°C、設計圧力45kg/cm²Gで、円筒部の寸法が外径280mm、肉厚20mm、高さ500mm、材質SF45Aの高圧法兰付き豊型円筒容器である。

8) 制御棒駆動装置 (CRDM)

制御棒駆動装置 (CRDM) は、ACサーボモータを駆動源とし、1/30の減速比を有する減速機及び1/2の減速比を有する駆動歯車を介してC/Rを吊るしたワイヤロープの巻取りドラムに連結している。ドラムの反駆動モータ側には、歯車等を介してリミットスイッチなどによるC/Rの位置検出機構が設けられている。ACサーボモータ軸と減速機の入力軸間には、励磁作動型の電磁クラッチが設けられ、スクラム時にはこの電磁クラッチを切り離してC/R自重による急速落下で急速挿入されるが、落下速度を一定速度に制御する遠心ブレーキ機構と接続されている。CRDMの駆動機構には、モータ機構、ドラム機構、スラックロープ検出機構等がある。CRDMの主な仕様を次に示す。

通常駆動方式	: ACサーボモータ駆動方式
スクラム方式	: ACサーボモータ高速回転による直動方式 電磁クラッチ切り離しによるC/R自由落下方式
C/R挿入、引抜方式	: ロープ巻取りドラム方式
ドラム巻取方式	: 一層巻き
C/Rストローク	: 最大4060mm
通常駆動速度	: 1mm/s～10mm/s
スクラム速度	: 約370mm/s (仕様: 炉心80%挿入15秒以内)
ドラム直径	: 250mm (ワイヤロープ中心径)

9) スタンドパイプ (S/P) 内遮蔽体

スタンドパイプ (S/P) 内遮蔽体は、炭素鋼を6段積み重ね、最下部に実機同様の断熱材（カオウール）を設けた構成になっている。遮蔽体の内部には6本の熱電対を埋め込み軸方向及び半径方向の温度分布を計測する熱電対挿入孔とワイヤロープ及び位置検出機構の検知ロッドの貫通孔が設けてある。S/P内遮蔽体の主な仕様を次に示す。

型式	: 鋼製円盤多重連結型
寸法	: 外径550mm, 全長1492mm
材質	: 遮蔽体本体: 炭素鋼
使用温度	: 最高400 °C
雰囲気圧力	: 40 kg/cm ² G

10) 制御棒駆動装置信頼性試験装置周辺機器

制御棒駆動装置信頼性試験の実施に当たっては、試験体を実機雰囲気温度に模擬するため、流

路管、案内管、予熱ヒータ、パネルヒータ等周辺機器が設置されている。以下に主な周辺機器の仕様を示す。

(a) 流路管

型 式	: 外周加熱方式中空円筒
主要寸法	: 内径 123mm, 全長 6568.5mm, 肉厚 約7mm, 加熱長 3990mm
主要材質	: 流路管 : インコロイ800H ヒータシース : インコネル600 発熱体 : ニクロム合金
設計温度	: 950°C
ヒータ発熱量	: 25kW以上

(b) 案内管

型 式	: マイクロヒータ付き中空円筒
主要寸法	: 内径 127mm, 全長3350mm
主要材質	: 流路部 : SUS316 ヒータシース : インコネル600 発熱体 : ニクロム合金
設計温度	: ヒータ表面 700°C, その他 500°C
ヒータ発熱量	: 8kW (2kW×4本)

(c) 予熱ヒータ

型 式	: シースヒータ集合体
寸 法	: ヒータ発熱部：直径20mm, 全長1330×5本, 1420mm×1本 ヒータ収納部：内径102.3mm, 全長1303mm 流 路 部 : 内径53.5mm
主要材質	: ヒータシース : インコネル600 発熱体 : ニクロム合金
設計温度	: ヒータ表面 700°C, その他 500°C
ヒータ発熱量	: 30kW (5kW×6本)

(d) パネルヒータ

型 式	: 3分割マイクロヒータ内蔵パネル
寸 法	: 内径1100mm, 外径1106mm, 全長2330mm
主要材質	: パネル内面 : 銅 パネルケーシング : SUS 304 ヒータシース : SUS 316 発熱体 : ニクロム合金
設計温度	: パネル表面 : 150°C ヒータ表面 : 300°C
ヒータ発熱量	: 4.8kW (0.8kW×6本)

(2) 多チャンネル試験装置 (T₁-M) の主要機器構成

多チャンネル試験装置 (T₁-M) は、模擬燃料体カラムを中心に内蔵冷却器等を収納した圧力容器、加圧冷却水設備、配管弁、電気計装設備等より構成されている。ヘリウムガスは、M₁ループで所定の温度、圧力、流量に制御され、T₁-M圧力容器上部より流入し、模擬燃料体カラム及び内蔵冷却器を経てM₁ループに戻る。模擬燃料体カラムは、HTTRの燃料体1カラムを実寸規模で模擬したもので、黒鉛ブロックと12本の模擬燃料棒から構成される。Fig. 2.15にT₁-M試験装置の構造図を示す。以下に、T₁-M試験装置を構成する主な機器の概要を示す。

1) 圧力容器

形 式	: 橫型円筒
内 容 積	: 約30m ³
主要寸法	: 1800 ^{OD} (水冷ジャケット外側) × 14800 ^L
主要材質	: 胴体; SB49, 胴フランジ; SF45
使用流体	: ヘリウムガス
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 100°C (水冷部)

2) 内蔵冷却器

多チャンネル試験装置は、ヘリウムガス流量が40~400g/sという広い範囲の試験を行うため、内蔵冷却器は全流量範囲について試験体入口温度一定の運転が可能となるように伝熱面積を選択する必要がある。従って本冷却器は、試験条件により伝熱面積を可変にするため4分割方式とした。また、本冷却器は圧力容器に内蔵するため、水冷壁構造を採用し、ヘリウムガスを環状流路の内外面から冷却する等極力コンパクトな構造とした。本冷却器に流入した1000°Cのヘリウムガスは、ここで200°C以下に冷却されM₁ループに戻る。内蔵冷却器の主な仕様は次の通りである。

形 式	: 加圧水式水管ガス冷却器 (並列4分割型)
使用流体	: 1次側/ヘリウムガス, 2次側/加圧冷却水
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 1000/400°C (1次側入口/出口) 50/150°C (2次側入口/出口)
設計伝熱量	: 1400kW

3) 補償ヒータブロック

補償ヒータブロックは、T₁-Sと同様にコーナーライト ($2\text{MgO}\cdot2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot5\text{SiO}_2$) 製の断熱ブロック、カンタル線及びケーシングで構成されている。ただし、1チャンネルと比較すると試験体のサイズ及び冷却材の流量が大きいことから、軸方向の分割数は9段とし、半径方向にも2分割した。補償ヒータ1段当たりの最大出力は5kWとし、模擬ブロック外面温度と補償ヒータ内側温度が等しくなるように出力制御される。補償ヒータブロックの主な仕様を次に示す。

形 式	: 半円分割電気加熱式
出力制御方式	: 径方向2分割軸方向11段分割9段独立制御方式
最高使用温度	: 1000°C

主要材質	断熱ブロック ヒータ	コージライト カンタルA-1
ケーシング材質	SUS304	
最大入力	(2.5kW+2.5kW)×2, 5kW×14, (5kW+5kW)×2 1, 4~10段ブロック 7.8kW	
組立寸法	1270 ¹¹¹ ×400 ¹¹¹ ×6270 ¹	

4) 模擬ブロック

模擬ブロックは、黒鉛製燃料ブロック7個、上下部可動反射体に相当するブロックがそれぞれ2個計11個で構成されている。ブロックの形状は、第1~9段目までが平径299mm、高さ570mmの六角柱、第10, 11段目が直径390mm、高さ570mmの円柱である。六角ブロックの外側には、金属製の側部ブロックを取付、補償ヒータブロックとの隙間を埋める構造になっている。また、側部ブロックは、模擬燃料体を圧力容器外に取り出すためにブロックを固定する機能も有している。模擬ブロックの主な仕様を次に示す。

形 状	六角柱及び円柱
寸 法	外径390mm及び対辺距離299mm、高さ570mm
材 質	黒鉛 (IG-11)

5) T₁-M加圧冷却水系機器

以上に示した構成機器のほかに、T₁-Mでは、試験体より流出する高温のヘリウムガスをM₁ループの運転温度に冷却するため試験体出口に内蔵冷却器を設けている。この内蔵冷却器は、冷却水の沸騰を避けかつヘリウムガス側への水分の浸入を防ぐため運転圧力37kg/cm²Gに加圧された純水が使用されている。T₁-M加圧水系は、内蔵冷却器より流出した高温冷却水の熱除去を行う水/水冷却器、加圧水を循環させる循環ポンプ、冷却水を窒素ガスにより所定の圧力にする加圧器、加圧水を供給する補給水ポンプ、加圧冷却水の脱気とPHコントロールによる水質管理のためにヒドライジンを注入する薬注ポンプ及び配管、弁類から構成される。以下に、T₁-M加圧冷却水系の主な機器の仕様を示す。

(a) 水/水冷却器1C202

形 式	シェルアンドチューブ横置型
流 体	1次側（胴側）：加圧冷却水 2次側（管側）：冷却水
流 量	1次側（胴側）：3.35kg/s 2次側（管側）：16.8kg/s
圧 力	1次側（胴側）：37kg/cm ² G 2次側（管側）：3kg/cm ² G
温 度	1次側入口/出口 150°C/50°C 2次側入口/出口 32°C/52°C
設計圧力	45kg/cm ² G
設計温度	200°C
伝 热 量	1.2×10^6 kcal/h
材 質	管側STBA22S, 脇側SB49

(b) 循環ポンプ1WP201, 1WP202

形 式	横置遠心ポンプ
-----	---------

吐出量 : 15 m³/h
 揚程 : 15 m
 吸込圧力 : 37 kg/cm²
 温度 : 50 °C

(c) 加圧器1WT201

形式 : 縦形円筒型
 容積 : 1.164 m³
 設計圧力 : 45 kg/cm²G
 設計温度 : 300 °C

(d) 補給水ポンプ1WP203

形式 : 往復動式プランジャーポンプ
 吐出量 : 1.2 m³/h
 吐出圧力 : 40 kg/cm²

(e) 薬注ポンプ1CP201

形式 : 往復動式プランジャーポンプ
 吐出量 : 1.8×10^{-3} m³/h
 吐出圧力 : 40 kg/cm²

2. 3. 3 T₂試験部の概要

炉内構造物実証試験部 (T₂) は、HTTR炉床部構造物の製作・組立性の実証、高温雰囲気下での健全性の実証並びに冷却材の伝熱流動試験等を行うための試験部で、ヘリウムガスの流量、温度等の試験条件を設定するための試験装置と炉床部構造物の実寸大モデルの試験体から構成されている。

試験装置は、炉心7領域に相当する部分のヘリウムガス流量の制御と計測を行うための流量調節装置と流量測定ブロック、ヘリウムガスを加熱するとともに温度制御を行う領域別ヒータからなり、これらは全て試験体の上部に設置されている。

試験体は、HTTRの炉心 7領域分に対応した炉床部を模擬した構造になっており、固定反射体、高温プレナムブロック、サポートポスト、炉床部断熱構造物、高温プレナム側部断熱構造物、炉内鋼構造物等から構成されている。試験体は、鋼製の容器内に収納されており、その構造、材質、寸法は、HTTR炉床部構造物とほぼ同じであるが、HTTRの設計確定前に設計・製作が始まったため若干異なる部分がある。しかし、試験体の主要部分はHTTRと同じであり、T₂試験部の試験結果を評価する上で変更箇所の影響は小さい。

T₂試験部は、M₂+Aの高温ループと低温ループからそれぞれヘリウムガスの供給を受ける。M₂+Aの高温ループで最高930°Cに加熱されたヘリウムガスは、高温入口二重配管の内管を通ってT₂試験装置に入り、流量調節装置により各領域に必要な流量に配分された後、領域別ヒータにより最高1050°Cまで昇温される。高温のヘリウムガスは、高温プレナムで炉床部を漏洩した低温ヘリウムと混合し約950°Cになり、出口管を通ってM₂+Aの高温ループに戻る。一方、M₂+Aの低温ループを出した低温のヘリウムガスは、出口管の外側流路を通り、ダイヤグリッド、サポートプレート、コア

バレル、炉心拘束機構等の鋼構造物を冷却し、高温入口二重配管の外側流路を経てM₂+Aの低温ループに戻る流路構成になっている。高温のヘリウムガスを試験体に供給する高温ループと低温のヘリウムガスを試験体に供給する低温ループを結ぶ回収配管により試験体の高温プレナム内外に差圧を与える。また、上記の高温ループと低温ループの2つのループはそれぞれ単独に運転ができるため、単ループ運転による試験が可能なループ構成になっている。Fig. 2.16にT₂試験部の構造図を示す。T₂試験部を構成する主な機器の仕様を以下に示す。

なお、T₂試験部の試験体構造等の詳細については、文献⁵⁾を参照されたい。

(1) T₂試験部の主要機器構成

1) 試験装置

本試験装置は、所定の温度、圧力、流量の高圧ヘリウムを試験体7領域に供給する装置で、その構成は、試験体を格納する圧力容器、M₂+Aループから供給される高温ヘリウムの入口管、高温ヘリウムと低温ヘリウムの内外流路を分離する内部隔壁、各領域の流量を調節、測定し、さらに所定の入口温度まで加熱する領域別ヒータ及び高温二重配管等から成っている。本試験装置によりヘリウムガスは最高1050℃まで加熱され、試験体に供給される。試験装置の設計、製作にあたっては次に示す試験及び運転条件を考慮した。

領域別ヒータ出口ガス温度	: 1050 ℃
高温ヘリウムガス入口温度	: 930 ℃
低温ヘリウムガス入口温度	: 430 ℃
ヘリウムガス圧力	: 40 kg/cm ² G
高温/低温ヘリウムガス差圧	: 0.3kg/cm ²
高温ヘリウム入口流量	: 0.4~4.0 kg/s
高温ヘリウム出口流量	: 0.4~4.5 kg/s
低温ヘリウム入口/出口流量	: 0.4~4.0 kg/s

(a) 圧力容器

本圧力容器は、試験装置の耐圧壁を構成し、試験体及び領域別ヒータ、内部隔壁等を格納するためのものである。以下に、圧力容器の概略仕様を示す。

形 式	: 横型円筒
内 容 積	: 約140m ³
主要寸法	: 4615 ^T D × 16000 ^L
主要材質	: SCMV4
使用流体	: ヘリウムガス
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 450℃

(b) 領域別ヒータ

領域別ヒータは、M₂+Aループより供給された高温ヘリウムガスを加熱し、試験体各領域へ流入するヘリウム温度を調節する機能と同時に各領域の流量調節及び流量測定の機能を有するものである。領域別ヒータの主な仕様は次の通り。

形 式	: 三相交流直接通電式パイプヒータ
-----	-------------------

数　　量	： 7基
セメント材質	： 黒鉛
使用流体	： ヘリウムガス
使用圧力	： $40\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
入口ヘリウム温度	： 930°C
出口ヘリウム温度	： 1050°C
流量調節範囲 (全流量4kg/s時)	： 中心領域 $0.2 \sim 2.0 \text{ kg/s}$ 周辺領域 $0.09 \sim 0.9 \text{ kg/s}$
伝　　熱	： 中心領域 $7 \sim 730 \text{ kW}$ 周辺領域 $3.5 \sim 365 \text{ kW}$

(c) 内部隔壁

内部隔壁は、試験体上方に設置され入口管より流入し試験体へ供給される高温のヘリウムガスと試験体側部を流れる低温のヘリウムガスを分離、断熱することを目的とする隔壁である。内部隔壁には領域別ヒータが収納されている。以下に主な仕様を示す。

形　　式	： 円筒型断熱隔壁
材　　質	： 胴　　SCMV4
	： 断熱材 カオウール
流体温度	： 内側 1050°C
	： 外側 430°C
設計圧力	： $3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ (外圧及び内圧)
設計温度	： 500°C

(d) 高温出口二重管

形　　式	： 内部断熱二重流路方式
範　　囲	： 壓力容器出口管台～高温出口管
ヘリウム温度	： 高温 950°C
	： 低温 400°C
ヘリウム流量	： $0.4 \sim 4.5 \text{ kg/s}$
設計圧力	： 耐圧管 $45\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
	： 内管 $3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
設計温度	： 耐圧管 450°C
	： 内管 500°C
寸　　法	： 耐圧管 $660.4^{\text{OD}} \times 22^{\text{t}}, 558^{\text{OD}} \times 18^{\text{t}}$
材　　質	： 耐圧管 SCMV4
	： 内管 SCMV4
	： ライナ NCF2P
	： 断熱材 カオウール

(e) 高温入口二重管

形　　式	： 内部断熱二重流路方式
------	--------------

範 围	:	高温入口管～圧力容器入口管台
ヘリウム温度	:	高温 930°C
	:	低温 430°C
ヘリウム流量	:	0.4～4kg/s
設計圧力	:	耐圧管 45kg/cm ² G
	:	内管 3kg/cm ² G
設計温度	:	耐圧管 450°C
	:	内管 500°C
寸 法	:	耐圧管 660.4 ^{OD} ×22 ^I , 558 ^{OD} ×18 ^I
材 質	:	耐圧管 SCMV4
	:	内管 SCMV4
	:	ライナ NCF800H
	:	断熱材 カオウール

(f) 高温出口管

形 式	:	内部断熱单流路方式
範 囲	:	高温出口二重管～冷却器C ₃₁
ヘリウム温度	:	高温 930°C
	:	低温 450°C
ヘリウム流量	:	0.4～4.5kg/s
設計圧力	:	耐圧管 45kg/cm ² G
設計温度	:	耐圧管 350°C
寸 法	:	耐圧管 558 ^{OD} ×18 ^I , 660.4 ^{OD} ×22 ^I
材 質	:	耐圧管 SB
	:	ライナ NCF2F
	:	断熱材 カオウール

(g) 高温入口管

形 式	:	内部断熱单流路方式
範 囲	:	加熱器H ₃₂ ～高温入口二重管
ヘリウム温度	:	高温 950°C
ヘリウム流量	:	0.4～4kg/s
設計圧力	:	耐圧管 45kg/cm ² G
設計温度	:	耐圧管 350°C
寸 法	:	耐圧管 558 ^{OD} ×18 ^I , 660.4 ^{OD} ×22 ^I
材 質	:	耐圧管 SB
	:	ライナ NCF2F
	:	断熱材 カオウール

(h) 低温出入口配管

形 式	:	外部保溫单流路方式
-----	---	-----------

ヘリウム流量	: 0.4~4kg/s
設計圧力	: 45kg/cm ² G
設計温度	: 350°C
寸 法	: 267.4 ^{OD} × 9.3 ^{ID}
材 質	: 耐圧管 STPA22

2) 試験体

本試験体は、HTTRの炉床部7領域を模擬した構造で固定反射体、高温プレナムブロック、サポートポスト、炉床部断熱構造物、高温プレナム側部断熱構造物、炉内鋼構造物等から構成されている。以下に試験体を構成する主な機器の仕様を示す。

(a) 固定反射体

形 状	: 多角形柱状ブロック
数 量	: 48個
寸 法	: 等価内径/外径 2460/3560mm
	: 高さ 850mm(2段), 1100mm(1段), 1000mm(1段)
	: 全高 3800mm
材 質	: 黒鉛 (PGX)

(b) 高温プレナムブロック

種 類	: シール用ブロック	キー結合用ブロック
形 状	: 六角形柱状ブロック	六角形柱状ブロック
数 量	: 7個	7個
寸 法	: 対辺距離 886mm	対辺距離 886mm
	: 高さ 300mm	高さ 600mm
材 質	: 黒鉛 (PGX)	黒鉛 (PGX)

(c) 炉床部黒鉛構造物

種 類	: サポートポスト/同シート	高温プレナム下部ブロック	下端ブロック
形 状	: 兩端球面円柱/円柱座	六角形柱状ブロック	六角形柱状ブロック
数 量	: 21組	7個	7個
寸 法	: 直径150mm	対辺886mm	対辺886mm
	: 長さ600mm	高さ350mm	高さ200mm
材 質	: 黒鉛 (IG-11)	黒鉛 (PGX)	黒鉛 (PGX)

(d) 炉床部断熱構造物

形 状	: 六角形ブロック
寸 法	: 対辺距離 886mm, 全高 950mm (4層合計)
材 質	: 炭素 (ASR-1RB及びASR-0RB)

2. 4 精製系

2. 4. 1 概要

精製系は M_1+T_1 及び M_2+A+T_2 系統内のヘリウムガス中に含まれる不純物を除去し、高温時における系統内機器の酸化や、母材の劣化を防ぐために設置された。ヘリウム中の不純物を除去することは原子炉に応用した場合の放射化防止に役立つものである。

精製系は、HENDEL系統全体のヘリウムガスを精製するMp系と、 M_1+T_1 系統のみのヘリウムガスを精製する新設精製装置の2系統あり、それぞれHENDEL運転中に系統の不純物を除去してきた。

ヘリウムガスの精製方法は、酸化銅ベッドで、COやH₂を酸化してCO₂やH₂Oに変換し、これらをモレキュラーシーブベッドに吸着させ、残りの不純物(O₂, N₂, CH₄等)をコールドチャコールベッドに吸着させて除去するものである。従って、これらベッドとHENDEL系統内ガスを導入するための圧縮機、コールドチャコールベッドを冷却するための液体窒素タンク、反応温度を調節するための熱交換機や加熱器、あるいは冷却器、再生用の真空ポンプ等で構成されている。

2. 4. 2 主要構成機器

精製系はFig. 2.17～Fig. 2.18に示すように、次の各機器から構成される。

- (1) 酸化銅ベッド
- (2) モレキュラーシーブベッド
- (3) コールドチャコールベッド
- (4) 液体窒素タンク
- (5) ガス循環機
- (6) 加熱器
- (7) モレキュラーシーブ冷却器
- (8) 中温熱交換器
- (9) 高温熱交換器
- (10) 再生用真空ポンプ
- (11) 再生用空気加熱器
- (12) サージボリューム(ガス循環機出入口)
- (13) 温度調整電力盤
- (14) ガス分析装置
- (15) 計測装置
- (16) 配管、弁類

2. 4. 3 Mp系主要機器仕様

(1) 酸化銅ベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
- 2) 数量 : 2系統4基
- 3) 圧力 : 40kg/cm²G
- 4) 使用温度 : 300°C ± 10°C

- 5) 設計温度 : 400°C
 6) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 7) 充填材 : 酸化銅(ペレット状)
 8) 主要部材質 : SUS304
 9) 外形寸法 : 248.8^{OD} × 9.3^t × 2616^L
 10) 再生温度 : 300°C以下
 11) 加熱器容量 : 8kW × 2基
 12) 充填材使用量 : 約200kg

(2) モレキュラーシーブベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
 2) 数量 : 2系統6基
 3) 圧力 : 45kg/cm²G
 4) 使用温度 : 5°C ~ 10°C
 5) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 6) 設計温度 : 350°C
 7) 再生温度 : 300°C ± 10°C
 8) 加熱器容量 : 18kW × 2基
 9) 充填材 : MS-500
 10) 充填材使用量 : 約450kg
 11) 主要部材質 : SUS304
 12) 外形寸法 : 400^{OD} × 15^t × 2250^L

(3) コールドチャコールベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
 2) 数量 : 2基
 3) 圧力 : 45kg/cm²G
 4) 使用温度 : -195°C
 5) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 6) 設計温度 : 200°C
 7) 再生温度 : 150°C ± 10°C
 8) 昇温速度 : 70°C/h
 9) 充填材 : 活性炭
 10) 充填材使用量 : 約160kg
 11) 主要部材質 : SUS304
 12) 外形寸法 : 約1400^{OD} × 9^t × 5450^L

1 3) 付属装置

①低温熱交換器

形式	プレートフィン
数量	2基
流体	1次/2次/3次 ヘリウム/ヘリウム/窒素
流量	1次 360kg/h 2次 360kg/h 3次 50kg/h
圧力	1次 45kg/cm ² G 2次 45kg/cm ² G 3次 3kg/cm ² G
温度	1次入口/出口 10°C/-188°C 2次入口/出口 -195°C/0°C 3次入口/出口 -196°C/0°C
伝熱量	105kW
設計圧力	48kg/cm ² G
設計温度	-195°C
材質	伝熱管 アルミニウム 胴 アルミニウム
外形寸法	約300 ^w ×238 ^p ×1900 ^h

(4) 液体窒素タンク

1) 形式	粉末真空断熱
2) 数量	1式
3) 流体	液体窒素
4) 貯蔵量	約15 m ³
5) 圧力	3.0kg/cm ² G 6.0kg/cm ² G (Max)
6) 設計圧力	9.5kg/cm ² G
7) 設計温度	-196°C
8) 付属機器	
①蒸発器	1基
空気加温式	
蒸発能力	60Nm ³ /h
②配管弁類	1式
③液面系	1個
④圧力計 (現場型)	1個

(5) ガス循環機

- 1) 形式 : 1段立型無給油往復動圧縮機
 2) 数量 : 2台
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 流量 : 100g/s
 5) 圧力 : 40kg/cm²G/45kg/cm²G (吸込/吐出)
 6) 温度 : 10°C/23°C (吸込/吐出)
 7) 電動機 : 3相 440V 30kW
 8) 付属品 : 現場盤

(6) 加熱器

- 1) 形式 : シースヒータ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 流量 : 360kg/h
 5) 圧力 : 40kg/cm²G
 6) 温度 : 280°C/300°C (入口/出口)
 7) 加熱器容量 : 約30kW
 8) 設計圧力 : 40kg/cm²G
 9) 設計温度 : 350°C
 10) 材質 : 加熱管 SUS304
 胴 SUS304
 11) 外形寸法 : 267.4^{OD} × 15.1^I × 2130^L

(7) モレキュラーシーブ冷却器

- 1) 形式 : シェルアンドチューブ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム/フレオン (胴側/管側)
 4) 流量 : 360kg/h
 5) 圧力 : 45kg/cm²G (胴側入口)
 3kg/cm²G (管側入口)
 6) 温度 : 23.4°C/10°C (胴側入口/出口)
 5°C/5°C (管側入口/出口) 蒸発潜熱利用
 7) 伝熱量 : 10kW
 8) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 9) 設計温度 : 75°C
 10) 材質 伝熱管 : SUS304
 胴 SUS304

(8) 中温熱交換器

- 1) 形式 : シェルアンドコイル
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム/ヘリウム (胴側/管側)
 4) 流量 : 360kg/h (胴側)
 360kg/h (管側)
 5) 圧力 : 40kg/cm²G (胴側入口)
 45kg/cm²G (管側入口)
 6) 温度 : 300°C/10°C (胴側入口/出口)
 0°C/290°C (管側入口/出口)
 7) 伝熱量 : 151kW
 8) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 9) 設計温度 : 400°C
 10) 材質 伝熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : 約800^{OD}×30^t×3520^L

(9) 高温熱交換器

- 1) 形式 : シェルアンドコイル
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム/ヘリウム (胴側/管側)
 4) 流量 : 360kg/h (胴側)
 360kg/h (管側)
 5) 圧力 : 40kg/cm²G (胴側入口)
 46kg/cm²G (管側入口)
 6) 温度 : 20°C/280°C (胴側入口/出口)
 290°C/30°C (管側入口/出口)
 7) 伝熱量 : 135kW
 8) 設計圧力 : 48kg/cm²G
 9) 設計温度 : 450°C
 10) 材質 伝熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : 約700^{OD}×28^t×3300^L

(10) 再生用真空ポンプ

- 1) 形式 : メカニカルブースタ付油回転真空ポンプ
 2) 数量 : 2台
 3) 流体 : ヘリウム

- 4) 排気量 : $2\text{m}^3/\text{min}$
 5) 到達真空度 : $5 \times 10^{-3}\text{Torr}$

(1 1) 再生用ガス加熱器

- 1) 形式 : シースヒータ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : 窒素+空気
 4) 流量 : $60\text{Nm}^3/\text{hr}$
 5) 壓力 : $5\text{kg/cm}^2\text{G}$ (入口)
 $2.9\text{kg/cm}^2\text{G}$ (出口)
 6) 温度 : $0^\circ\text{C}/150^\circ\text{C}$ (入口/出口)
 7) 加熱器容量 : 4kW
 8) 設計圧力 : $3\text{kg/cm}^2\text{G}$
 9) 設計温度 : 200°C
 10) 材質 加熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : $155.2^{OD} \times 5^t \times 900^L$

(1 2) サージボリューム (ガス循環機出入口)

- 1) 形式 : 立型円筒式
 2) 数量 : 2基
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 流量 : 360kg/h
 5) 温度 : 23°C
 6) 入口圧力 : $45\text{kg/cm}^2\text{G}$
 7) 設計圧力 : $40\text{kg/cm}^2\text{G}$
 8) 設計温度 : 100°C
 9) 内容積 : 0.3m^3
 10) 主要部材質 : SUS304
 11) 外形寸法 : 約 $600^{OD} \times 16^t \times 1300^L$

(1 3) 溫度調整電力盤

- 1) 制御方式 : サイリスタ制御
 2) 電圧調整範囲 : $10\sim100\%$
 3) 時間定格 : 連続
 4) 入力 : 3相 50Hz 440V
 5) 構成 : ①加熱器用 1回路
 ②酸化銅ベッド用 4回路

- ③モレキュラーシーブベッド用 3回路
- ④コールドチャコールベッド用 3回路
- ⑤再生用ガス加熱器用 1回路

(1.4) ガス分析装置

1) 水分計

形式 : MBW Electronic製DP3-D
 測定レンジ : -90°C ~ +100°C
 表示 : デジタル 3+1/2桁
 精度 : ±0.4K 又は±0.1K
 応答速度 : <2°C/s
 出力 : ±10mV/°C 0°C=0mV
 流量 : 0.9~3.6 m³/h
 圧力 : C、B/C型ヘッド : <10bar
 SH型ヘッド : <20bar
 : <220bar
 周囲温度 : 0~50°C
 電源 : AC100V 50/60Hz
 水分計測箇所 : M₁系 H₁入口
 M₂系 H₃入口
 Mp系 Mp系入口 ガス循環機入口
 モレキュラーシーブベッド入口及び出口
 Mp系出口
 Mu系 供給ヘッダー入口
 精製装置 SB入口 SB出口 MB入口 MB出口 CB出口

2) ガスクロマトグラフ

形式 : 柳本製AG-1000H形
 検出器 : 非放射線式HID (定電流グロー放電方式)
 数量 : 6台
 分析方式 : ガスクロマトグラフ法
 分析カラム : 汎用タイプ
 恒温槽温度 : 60~80°C
 キャリアガス : ヘリウム
 スチームトレイス : なし
 接ガス部材料 : SUS304, 316, テフロン、バイトン、ガラス等
 サンプル流量 : 約 15×10^{-3} ~ 18×10^{-3} m³/h
 バイパス流量 : 0.06~0.12 m³/h
 外形寸法 : 650^w×760^D×1300^H

電源 : 100V AC 50Hz 1.2kA

2. 4. 4 新設精製装置主要機器仕様

(1) 酸化銅ベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
- 2) 数量 : 2基
- 3) 圧力 : 40kg/cm²G
- 4) 使用温度 : 300°C ± 10°C
- 5) 設計温度 : 400°C
- 6) 設計圧力 : 48kg/cm²G
- 7) 充填材 : 酸化銅 (日産ガードラー製T-366)
- 8) 主要部材質 : SUS304
- 9) 外形寸法 : 165.2⁰⁰ × 9.3¹ × 768¹
- 10) 再生温度 : 約200°C (300°C以下)
- 11) 加熱器容量 : 0.78kW × 2基
- 12) 充填材使用量 : 約20kg

(2) モレキュラーシーブベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
- 2) 数量 : 2基
- 3) 圧力 : 45kg/cm²G
- 4) 使用温度 : 5°C ~ 10°C
- 5) 設計圧力 : 48kg/cm²G
- 6) 設計温度 : 350°C
- 7) 再生温度 : 300°C ± 10°C
- 8) 加熱器容量 : 0.93kW × 2基
- 9) 充填材 : MB-552 (ユニオン昭和製5Aタイプ)
- 10) 充填材使用量 : 約45kg
- 11) 主要部材質 : SUS304
- 12) 外形寸法 : 216.3⁰⁰ × 15¹ × 834¹

(3) コールドチャコールベッド

- 1) 形式 : 縦型円筒式
- 2) 数量 : 2基
- 3) 圧力 : 42kg/cm²G
- 4) 使用温度 : -195°C
- 5) 設計圧力 : 45kg/cm²G
- 6) 設計温度 : -196°C / 200°C

- 7) 再生温度 : $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$
 8) 再生用加熱器容量 : $2\text{kW} \times 2$ 基
 9) 充填材 : 活性炭
 10) 充填材使用量 : 約 16kg
 11) 主要部材料 : SUS304
 12) 外形寸法 : 約 $216.3^{\text{OD}} \times 8.2^{\text{t}} \times 727.2^{\text{l}}$
 13) 付属装置

①低温熱交換器

- 形式 : 二重管式
 数量 : 2基
 伝熱量 : 13.2kW
 設計圧力 : $45\text{kg/cm}^2\text{G}$

(4) ガス循環機

- 1) 形式 : 1段立型無給油往復動圧縮機
 2) 数量 : 1台
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 流量 : 13g/s (at $42\text{kg/cm}^2\text{G}$)
 5) 圧力 : $40\text{kg/cm}^2\text{G}/42\text{kg/cm}^2\text{G}$ (吸込/吐出)
 6) 温度 : $10^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$ (吸込/吐出)
 7) 電動機 : 3相 200V 7.5kW
 8) 付属品 : 現場盤

(5) 加熱器

- 1) 形式 : シースヒータ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 流量 : 46.8kg/h
 5) 圧力 : $40\text{kg/cm}^2\text{G}$
 6) 温度 : $20^{\circ}\text{C}/300^{\circ}\text{C}$ (入口/出口)
 7) 加熱器容量 : 約 23.8kW
 8) 設計圧力 : $45\text{kg/cm}^2\text{G}$
 9) 設計温度 : 350°C
 10) 材質 加熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : $165.2^{\text{OD}} \times 7.1^{\text{t}} \times 1833^{\text{l}}$

(6) モレキュラーシープ冷却器

- 1) 形式 : 二重管熱交換器
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : ヘリウム／水（内側／外側）
 4) 流量 : 13g/s/0.193kg/s（内側／外側）
 5) 壓力 : 41kg/cm²G
 6) 温度 : 40°C/10°C（内側 入口/出口）
 5°C/7.5°C（外側 入口/出口）
 7) 伝熱量 : 1740kcal/h (2kW)
 8) 設計圧力 : 45kg/cm²G
 9) 設計温度 : 75°C
 10) 材質 内管 : SUS 19.0^{OP}×2.0^t
 外管 : SUS 34.0^{OP}×3.4^t
 11) 構造 : U字管2本連結、総伝熱長さ4100mm

(7) 中温熱交換器

- 1) 流体 : ヘリウム/ヘリウム（管側/胴側）
 2) 設計圧力 : 45kg/cm²
 3) 設計温度 : 450°C/450°C（管側/胴側）
 4) 内容積 : 0.11×4 m³/0.23×4 m³
 5) 伝熱面積 : 4.1×4 m²
 6) 材質 管 : SUS304
 胴 : SUS304

(8) 高温熱交換器

- 1) 流体 : ヘリウム/ヘリウム（管側/胴側）
 2) 設計圧力 : 45kg/cm²
 3) 設計温度 : 450°C/450°C（管側/胴側）
 4) 内容積 : 0.11×4/0.23×4 m³
 5) 伝熱面積 : 4.1×4 m²
 6) 材質 管 : SUS304
 胴 : SUS304

(9) 再生用真空ポンプ

- 1) 形式 : 搖動ピストン形油回転真空ポンプ
 2) 数量 : 2台
 3) 流体 : ヘリウム
 4) 排気量 : 2 m³/min

- 5) 到達真空度 : 5×10^{-3} Torr
 6) 設計排気速度 : 1.54 m³/min
 7) 回転数 : 410 rpm
 8) 冷却方式 : 空冷式
 9) 電動機 : AC 3φ 200V 2.2kW
 10) 駆動方式 : Vベルト

(10) 再生用ガス加熱器No. 1 (H₅₅₂)

- 1) 形式 : シースヒータ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : 窒素+空気
 4) 流量 : 0.78g/s
 5) 常用圧力 : 3kg/cm²G
 6) 温度 : 0°C/150°C (入口/出口)
 7) 加熱器容量 : 0.76kW
 8) 設計圧力 : 8kg/cm²G
 9) 設計温度 : 350°C
 10) 材質 加熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : 250^{OD} × 5^t × 1610^L
 12) 使用電源 : AC200V 1φ

(11) 再生用ガス加熱器No. 2 (H₅₅₃)

- 1) 形式 : シースヒータ
 2) 数量 : 1基
 3) 流体 : 窒素+空気
 4) 流量 : 0.78g/s
 5) 常用圧力 : 3kg/cm²G
 6) 温度 : 150°C/300°C (入口/出口)
 7) 加熱器容量 : 1.1kW
 8) 設計圧力 : 8kg/cm²G
 9) 設計温度 : 350°C
 10) 材質 加熱管 : SUS304
 胴 : SUS304
 11) 外形寸法 : 250^{OD} × 5^t × 1610^L
 12) 使用電源 : AC100V

(12) サージボリューム(ガス循環機出入口)

- 1) 流体 : ヘリウム
- 2) 設計圧力 : 45kg/cm²
- 3) 設計温度 : 50°C
- 4) 内容積 : 0.065 × 2 = 0.13m³
- 5) 本体材質 : SUS304

(13) ガス分析装置

- 1) 型式 : ヤナコ応技株式会社製 AG-1000HN型
- 2) 測定範囲 : H₂ 0~500ppm (最少検出感度 0.5ppm)
O₂ 0~400ppm (最少検出感度 0.5ppm)
N₂ 0~400ppm (最少検出感度 0.5ppm)
CH₄ 0~400ppm (最少検出感度 0.5ppm)
CO 0~400ppm (最少検出感度 0.5ppm)
CO₂ 0~400ppm (最少検出感度 0.5ppm)
- 3) 圧力 : 1~2kg/cm²
- 4) 温度 : 常温
- 5) 制御ユニット : プログラマ (P-80型)
- 6) インテグレータ : HP-3392A
- 7) 分析周期 : 20分
- 8) カラム方式 : 汎用タイプ
- 9) 総合再現性 : フルスケールの±2%以内

(14) 計測装置

1) 流量計、液面計用差圧伝送器

- 型式 : 横河電機製 UNI11S
スパン : 100~700mmH₂O

2.5 メイクアップ系(Mu系)

2.5.1 概要

Mu系は、HENDELのM₁+T₁、M₂+A+T₂及び精製系で使用するヘリウムガスの貯蔵、供給、回収及び圧力制御をする系統である。

Mu系の主な構成機器は、供給ヘッダー(HD₁)・回収ヘッダー(HD₂)・冷却器(C₁)・レシーバータンク(RT₁)・主圧縮機(B₄₁、B₄₂)・高圧ポンベ(HB₄₄、HB₄₅、HB₄₆、HB₄₉、HB₄₀)・低圧ポンベ(LB₄₁、LB₄₂、LB₄₃、LB₄₇、LB₄₈)及び配管弁類で、Mu系とM₁+T₁・M₂+A+T₂・精製系の各系統は配管弁類で接続されている。

M₁+T₁・M₂+A+T₂・精製系へのヘリウムガスの供給は、高圧ポンベと低圧ポンベ(150kg/cm²G)から圧力調節弁(PA402)で~40kg/cm²Gに減圧され供給ヘッダー(HD₁)を介して、双方の圧力差を

を利用して供給される。

$M_1+T_1 \cdot M_2+A+T_2$ ・精製系の昇温又は圧力変動時で生じた余剰のヘリウムガスの回収は、各々の系統から回収ヘッダー (HD_2)・冷却器 (C_4) を経てレシーバータンク (RT_1) に一旦貯留され5段無給油式往復動形圧縮機の主圧縮機 (B_{41} 、 B_{42}) によって最高 $150\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ まで加圧し、高圧ポンベ又は低圧ポンベに回収貯蔵される。もう一つの回収方法は、各々の系統と低圧ポンベとの圧力差を利用する方法で、回収ヘッダー (HD_2)・冷却器 (C_4)・レシーバータンク (RT_1) を経て低圧ポンベに回収する方法である。

このように $M_1+T_1 \cdot M_2+A+T_2$ ・精製系のヘリウムガスは Mu 系によって制御され、ヘリウムガスの供給・回収・貯蔵・圧力制御はすべて Mu 系を介して行われる。

2. 5. 2 主要構成機器

(1) 主圧縮機 (B_{41} 、 B_{42})

形 式	5段式無給油水冷型往復動圧縮機	
吸 入 圧 力	$0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$	
吐 出 圧 力	$150\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$	
押 し の け 量	$10.27\text{m}^3/\text{min}$	
実 風 量	$6.0\text{m}^3/\text{min}$ (空気)	
回 転 数	1 段用	440rpm
	2~5段用	380rpm
電 動 機	1 段用	$3\phi \quad 400V \quad 55kW \quad 1000\text{rpm}$ (6極)
	2~5段用	$3\phi \quad 400V \quad 110kW \quad 750\text{rpm}$ (8極)
安全措置	起動時の過電流防止のため、膨張タンク (ST_{45}) を設け弁の自動切り換えにより起動時は無負荷状態となるようにしてある。	

(2) 冷 却 器 (C_4)

形 式	シェルアンドチューブ切欠きバッフル形	
流 体	胴側：ヘリウムガス	管側：冷却水
流 量	胴側： $100\text{g}/\text{s}$	管側： $2.2\text{kg}/\text{s}$
压 力	胴側： $40\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$	管側： $3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
設計圧力	$45\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$	
温 度	胴側： $400/50^\circ\text{C}$	管側： $32/52^\circ\text{C}$
設計温度	450°C	
材 質	压力容器： $STPA22S$	伝熱管： $STB35S$
安全措置	沸騰が起こらない構造とし、伝熱管は U チューブで一方のみを固定する構造とし、伝熱管と容器との熱膨張差を逃している。	

(3) レシーバタンク (RT₁)

形 式 : 壓形円筒式
 容 量 : 3 m³
 圧 力 : 0.3~40kg/cm²G (設計圧力: 45kg/cm²G)
 溫 度 : 常温 (設計温度: 50°C)
 材 質 : SB42
 機 能 : レシーバータンクは主圧縮機の運転時間と停止時間とを適正にするためヘリウムガスの貯蔵の機能を有している。

(4) 供給ヘッダー (HD₁)

形 式 : 横形円筒式
 容 量 : 0.1 m³
 圧 力 : 43kg/cm²G (設計圧力: 55kg/cm²G)
 溫 度 : 常温 (設計温度: 50°C)
 材 質 : STPT38

(5) 回収ヘッダー (HD₂)

形 式 : 横形円筒式
 容 量 : 0.1 m³
 圧 力 : 40kg/cm²G (設計圧力: 55kg/cm²G)
 溫 度 : 400°C (設計温度: 450°C)
 材 質 : STPT38

(6) 高圧ボンベ (HB₄₁, HB₄₅, HB₄₆, HB₄₉, HB₅₀)

低圧ボンベ (LB₄₁, LB₄₂, LB₄₃, LB₄₇, LB₄₈)

形 式 : 内容積0.5m³の長尺ボンベ14本からなるカードル
 容 量 : カードル1基: 7 m³
 数 量 : 高圧カードル: 5基 低圧カードル: 5基
 設計圧力 : 200kg/cm²G
 充填圧力 : 150kg/cm²G at 35°C
 材 質 : Cr-Mo鋼 (熱処理済)
 尺 法 : 355.6^{OD} × 10.8^I

(7) フィルター (F4)

形 式 : 焼結金属
 流 量 : 3.6 m³/h
 設計圧力 : 165kg/cm²G
 設計温度 : 50°C

ろ過精度 : $5 \mu\text{m}$
 材 質 : 圧力容器: SFHV22B
 : エレメント : SUS316

(8) 真空ポンプ

形 式 : メカニカルブースタ付油回転真空ポンプ
 排 気 量 : M1、MUL-P 用
 メカニカルブースタ $90 \text{ m}^3/\text{h}$
 油回転ポンプ $19 \text{ m}^3/\text{h}$
 M2+AL-P 用
 メカニカルブースタ $500 \text{ m}^3/\text{h}$
 油回転ポンプ $78 \text{ m}^3/\text{h}$

2.6 冷却水系 (Uc系)

2.6.1 概要

本設備は毎時950tonの冷却水を循環させ、HENDELの総発熱量22MWを除熱する機能を有している。冷却水は、高架水槽を経由し各系統の冷却器に送られ、冷却塔に戻り、除熱されて再び高架水槽に送られる。また停電時には、この高架水槽から落差圧で各冷却器に送水され、非常用発電機の起動迄の間、冷却水の喪失による機器の損傷を防止する。

2.6.2 主要構成機器

(1) 冷却塔 C₈ 冷却塔ファン CF₈₁・CF₈₂

本冷却塔はHENDEL設備の冷却容量22MWを冷却する機能を有するものであり、事故等を考慮して50%2セルとし、冷却能力の100%喪失を極力防止する設計としている。

機器仕様

形 式 : 直交流形木造製
 循 環 水 量 : $475 \text{ m}^3/\text{h} \times 2$
 水 温 度 : $32^\circ\text{C}/52^\circ\text{C}$
 湿 球 温 度 : 26.5°C
 セ ル 数 : 2
 軸流送風機 : $30\text{kW}/1\text{セル} \times 2$

冬期の凍結防止のため、水量調節弁に保温テープを巻き、送風機の油面計に保温カバーを取り付けている。

(2) 冷却水槽 CI₈

本冷却水槽は、冷却塔によって冷却された冷却水の貯槽としての機能を有している。

(3) 高架水槽 WT₈

本高架水槽（容量約50ton）は、停電による冷却水ポンプの完全停止時に、非常用発電機の起動迄の間、冷却水の喪失によって機器の損傷するのを防ぐために冷却水を供給するための冷却水槽である。この機能を果たすため、GL+27mに設置されており、冷却水ポンプによってその水位が制御されている。

(4) 水処理設備

本水処理設備は、機器の冷却水として使用する冷却塔系の冷却水に防錆剤を注入し機器の発錆による損傷を防止する機能を有している。

機器仕様

防錆剤注入ポンプ CP ₈		防錆剤タンク	
数　　量	： 1台	容　　量	： 1.2m ³
吐出容量	： 可変0～0.012 m ³ /h		
吐出圧力	： 5kg/cm ² g		
接液部材質	： SUS316		
電　　動　機	： 3φ, 400V, 0.4kW		

(5) 冷却水ポンプ WP_{8.1}・WP_{8.2}

本ポンプは、HENDEL設備の機器の冷却水を供給するもので、冷却水の供給機能を確実にするため、100%容量のものが2台設置され、常用機のトリップで予備機が自動起動するシステムとしている。

機器仕様

形　　式	： 立形遠心ポンプ
数　　量	： 2台 (100% × 2台)
容　　量	： 1000 t/h
揚　　程	： 38m
回　転　数	： 985rpm
電　　動　機	： 3φ, 400V, 160kW

ポンプの連続運転可能最小流量は定格流量の20%以下としている。

(6) 供給水ポンプ WP_{8.4}・WP_{8.5}

本ポンプは、冷却水系の水の初期充填及び、補給水の供給の機能を有している。

(7) 排水ポンプ WP_{8.3}

本ポンプは、冷却塔系の水が冷却塔による発熱のため溶解固形物が濃縮して水質が悪化するのを防止するため、冷却塔系の冷却水をブローする機能と、水槽下部の沈殿物の排除の機能を有している。

機器仕様

形 式 : 立形ブレイドレスポンプ
 数 量 : 1台
 容 量 : 18 t/h
 揚 程 : 5m
 電 動 機 : 3φ, 440V, 2.2kW

(8) スクリーン F_{81}, F_{82}

本スクリーンは、冷却塔下部の水槽と冷却水ポンプ側水槽の間に設置され、冷却塔側から流入する固体物質が冷却水ポンプに流入し、ポンプを損傷させない目的で設置したものである。

機器仕様

数 量 : 2台
 メッシュ : 16メッシュ
 材 質 : SUS304

(9) 冷却水用配管及び弁類

冷却水送水時は、配管及び弁類を使用し、各機器に必要な量と圧力をコントロールしている。

機器仕様

母 管 口 径 : 350A
 材 質 : SGP
 弁 類 : 仕切弁・逆止弁・玉形弁等

2. 7 電気系

2. 7. 1 電源系統

HENDEL建屋に隣接するHENDEL変電所は、東海研変電所から66kVで受電し、変圧器により6.6kVに降圧して高圧配電盤を介し、各加熱器負荷又は、さらに変圧器により降圧して低圧配電盤から補機類への電力供給を行う。従って、HENDELの交流電圧の階級は、6.6kV, 440V, 220V, 110Vである。Fig. 2.3にHENDEL電源系統図を示す。

HENDELは、1,000°Cの高温ヘリウムガスが循環するガスループであるため、安全性に最重点がおかれ、運転中にいかなるトラブルが発生した場合でも、系統内の高温ヘリウムガスを安全に常温まで降温し、安全に停止できる機能を有する。

電源系統はこの思想に基づき、商用系停電を想定した系統分けがされている。すなわち、電源系統を、常用系、非常用系、無停電系の3系統に分け、稼働する電気設備の安全重要度により、どの系統の電源から受電すべきかの配慮がされている。

常用系は、商用電源を電力として機器を運転し、商用電源が停電した場合、運転中の機器は停止するが、商用電源復帰後に再運転するものである。また重要度の低い機器、又は、商用系停電中にあえて運転する必要性のない機器（例えば加熱器）が負荷としてある。

非常用系は、通常、商用電源を電力として機器を運転するが、商用電源が停電した場合、運転

中の機器は一旦停止するが、停電後数十秒で自動起動するガスタービン発電機（非常用発電機）からの電力を受けて、自動再起動するものである。この系統には重要度の高いガス循環機や、冷却水ポンプ等の冷却系の機器が接続されている。

無停電系は、無停電電源装置（CVCF装置）から電力の供給を受けるもので、商用系が停電しても、CVCF装置の出力は停電しない。CVCF装置は、定常時は商用系から受電し、これを一旦直流に変換し、さらに50Hzの交流に変換して、各負荷に電力を供給している。商用系を直流に変換したところでは、大容量の蓄電池と並列に接続しているため、商用系に停電が発生しても蓄電池からの電源供給を受け、それを50Hzの交流に変換しているので停電なしの出力が供給できる。この系統には最も重要度の高い、計算機システムなど計測制御関係の機器が接続され、HENDELの自動運転制御、停電や機器故障などの異常処理、試験データの取得を行っている。

2. 7. 2 主要構成機器

HENDELの主な電気設備は、配電設備と負荷設備と大別される。配電設備には、高圧配電盤、低圧配電盤、コントロールセンタがあり、負荷設備には、電気加熱器、ガス循環機、T₁試験部加熱器、T₂試験部加熱器、精製装置温度調整電力盤などがある。特に、HENDELで使用する電力量の大部分を占める電気負荷設備が電気加熱器であり、ループを構成する重要機器の一つでもある。これらの電気負荷の概要と仕様について以下に述べる。その他、比較的電力量の大きい、主要な機器の仕様は(5)項に示す。

(1) 電気加熱器

ヘリウムガスを加熱する熱源として電気加熱器を採用している。ループには加熱器H₁、加熱器H₂、加熱器H_{3,1}、加熱器H_{3,2}の4基の加熱器があり、それぞれ目的に合わせた温度にヘリウムガスを昇温することが可能である。その他、試験部内にも加熱器があるが、これについては、(3)項に簡単な仕様を示す。

加熱器H₁は、流量0.4kg/sのヘリウムガスを400°Cまで昇温して、T₁試験部内に供給循環することができる。

加熱器H₂は、流量4kg/sのヘリウムガスを400°Cまで昇温して、T₂試験部内に供給循環ができる。

加熱器H_{3,1}及び加熱器H_{3,2}はシリーズで接続し、加熱器H_{3,1}では720°Cまで昇温し、さらに加熱器H_{3,2}により1,000°Cまで昇温した流量2.8kg/sのヘリウムガスを、T₂試験部内に供給循環することができる。

これら加熱器の総電力量は約13,000kWに及び、HENDELの使用電力量の大部分を占めている。

Table 2.1, Table 2.4, Table 2.5及びTable 2.6に各加熱器の機器仕様と入力制御装置の概要を示す。

(2) ガス循環機

HENDELには、ガス循環機B₁、ガス循環機B_{2,1}、ガス循環機B_{2,2}、ガス循環機B_{2,3}、ガス循環機B_{2,4}の計5台のガス循環機があり、主に回転数制御装置によりループ内の高温ヘリウムガスを所定の流量に制御し、循環させる機能を有している。ガス循環機は、ヘリウムガス中への不純物混入がなく、ヘリウムガスの外部への漏洩を防止する観点から、密閉型、動圧ガスペアリングタイプの循

環機が採用されている。

ループを循環するヘリウムガスの流量制御は、主としてガス循環機の回転数を調整する方法があり、その他にメイシループを構成する弁の開度を調整する方法と、バイパスラインの弁開度を調整する方法がある。通常、この3種を組み合わせて流量調整を行っている。ガス循環機回転数制御装置は、循環機に供給する電源の周波数を50~200Hzに変化させて、循環機の回転数を調整し、流量を制御する装置である。

ガス循環機B₁は、サイリスタインバータ方式のB₁回転数制御装置により回転数が制御されて、M₁ループの流量制御を行う。ガス循環機B₂₁とB₂₂は、M-G方式のB₂回転数制御装置により回転数が制御されて、内側ループの流量制御を行う。また、ガス循環機B₂₃とB₂₄は、同じくM-G方式のB₃回転数制御装置により回転数が制御されて、外側ループの流量を制御する。

Table 2.3及びTable 2.10に各ガス循環機の機器仕様と回転数制御装置の概要を示す。

(3) T₁試験部加熱器, T₂試験部加熱器 (T₁, T₂電気設備)

T₁試験部加熱器

T ₁ -S模擬燃料棒	: 1φ, 120kVA
T ₁ -S補償ヒータ	: 1φ, 13kVA×6組, 20kVA×3組
T ₁ -M模擬燃料棒	: 1φ, 120kVA×12組
T ₁ -M補償ヒータ	: 1φ, 13kVA×18組

T₂試験部加熱器

領域別ヒータ	: 3φ, 365kVA×6組, 730kVA×1組
--------	----------------------------

(4) 精製装置温度調整電力盤

酸化銅ベッド加熱器	: 3φ, 440V, 4kW×4組
モレキュラーシーブスペッド加熱器	: 3φ, 440V, 6kW×6組
コールドチャコールベッド加熱器	: 3φ, 440V, 6kW×6組
加熱器H51	: 3φ, 440V, 30kW×1組
再生用ガス加熱器H ₅₂	: 3φ, 440V, 5kW×1組

(5) その他の主要な電気設備

冷却水ポンプ	: 3φ, 440V, 160kW×2台
供給水ポンプ	: 3φ, 440V, 5.5kW×2台
冷却ファン	: 3φ, 440V, 30kW×2台
主圧縮機	: 3φ, 440V, 165kW×2台
計装空気圧縮機	: 3φ, 440V, 37kW×2台
加圧水循環ポンプ	: 3φ, 440V, 11kW×2台
加圧水補給ポンプ	: 3φ, 440V, 5.5kW×2台
電動弁	: 3φ, 440V, 0.2kW~5.5kW×91台

2. 8 計測制御系

2. 8. 1 概要

HENDELの計測制御系は、分散型計装システムならびに集中型監視システム等により構成されており、機器の運転の自動化及び温度・圧力・流量等の監視制御を行っている。また、試験部(T_1 , T_2)においては、分散型計装システムにより監視・制御を行っている。

HENDELの起動から定常運転そして停止に至るまでの一連の運転操作を自動化するため、集中型監視システムから分散型計装システムに指令信号を出し、HENDELの各系の運転操作を順次進めしていく制御をシーケンス制御と称している。

これは、分散型計装システム及び集中型監視システムにそれぞれ分担して制御している。

運転中は、分散型計装システムのCRTで監視され、データはハードコピー装置やフロッピーディスクに記録され、時報、日報等はロギングタイプライターに印字記録される。また、記録計にはリアルタイムで記録表示される。

さらに、HENDELの運転状態を確実に把握出来るためのグラフィック盤も設置されている。

HENDELの安全保護動作は分散型計装システムが正常に稼働している限りそれにより行っているが、万一、分散型計装システムが停止しても安全が確保されるよう、重故障に対しては、安全防護システムを独立して設置している。

集中型監視システムが故障により停止した場合、多少機能が低下するが、分散型計装システムによりHENDELの運転は可能である。さらに、分散型計装システムの一部が故障により停止した場合は、故障系統にもよるがバックアップ計器の使用によりHENDELの運転維持は可能である。

試験部の分散型計装システムは、HENDELの分散型計装システムとは独立して制御を行っている。しかし、制御上、安全上必要なデータ及び信号については、考えられる限りデータの取り合いを行い、運転状況を示すための代表的データは必要最小限に受け入れている。

また、試験部の保護動作は、HENDELの保護動作の方針によって行われているため、HENDELとのインターロック及びバックアップ調節計等のシステムも設置されている。

2. 8. 2 主要構成機器

(1) M+A分散型計装システム

分散型計装システムは、演算処理機能ならびにシーケンス制御機能を有するマイクロプロセッサを中心として、プロセス入出力装置、CRTディスプレイ制御装置、CRTグラフィック・ディスプレイとキーボードからなるオペレータ・コンソール、集中型監視システムとの情報交換を行うデータウェイ、システムタイプライター等によって構成されている。

プロセス入出力装置は、HENDELからのアナログ信号及びディジタル信号を受ける入力回路、操作端の制御機器を駆動するアナログ信号及びディジタル信号を出力する出力回路によって構成されている。

オペレータ・コンソールは、マン・マシンインターフェースとして大型のカラーディスプレイを使用し、データの集中表示をしたり、制御ループの各種パラメータを表示、制御状態の表示、アラームの表示、或いは、各種データの設定変更、キーボードを操作する事によりHENDELの機器を起動・停止させる事等が出来る。

また、運転中のデータを長期間にわたりトレンド記録するためのフロッピーディスクドライブユニット（FDD装置）や、システムのソフトウェアをロード/セーブするための磁気テープユニット（MT装置）も装備されている。

分散型計装システムは、HENDEL各部の温度・圧力・流量等の主要なプロセス値を取り込み補正演算等の演算処理、警報チェックを行う。さらに、運転条件として設定した制御目標値（SV値）との偏差を計算してPID演算を施し、その結果を機器に出力している。

制御演算の種類としては、PID制御、ON-OFF制御、フィードバック及びフィードフォワード制御、比率制御等がある。

これらはすべて、問題向き言語（POL）と呼ばれているソフトウェアによって行われている。POLは、オペレータ・コンソールのキーボードで操作でき、計装系統図及びフローチャートに従つて記述できるため、イメージにあった統一信号の命令が使用でき、操作が容易であることが特徴である。

（2）試験部分散型計装システム

試験部の分散型計装システムは、フィールドコントロールステーション、シグナルコンディショナー、オペレータ・コンソール、タイプライター等から構成されている。

フィールドコントロールステーションは、変換器、調節器を有し、制御ステーションを構成している。補正演算や各種制御演算を行うフィールドステーションを二重化し、異常時に対しての信頼性をもっている。

シグナルコンディショナーは、アナログ入出力やデジタル入出力を管理している。オペレータ・コンソールは、各データ、各種制御モジュール、グラフィックパネル等を表示し、試験部運転に必要な操作、現場監視を行っている。

また、バックアップ計器等を装備する、バックアップ操作盤があり、システムの故障等によりオペレータ・コンソールが停止しても最低限の制御、機器の運転・停止が行える。

（3）集中型監視システム

集中型監視システムは中央処理装置（CPU）を中心に、シーケンス制御を容易に行うため分散型計装システムとの結合をはかるインターフェース、総合的な監視を行うシーケンス・コンソール（オペレータ・コンソール）、及びプロセス入出力装置等がある。また、周辺機器としてシステムタイプライター、ロギングタイプライター、ラインプリンター、カードリーダー/パンチ、磁気テープ装置等によって構成されている。

シーケンス・コンソールには、CRTディスプレイ及びシーケンス制御用のスイッチが各種装備されており、HENDELの自動運転等のプログラムを起動・停止することが出来る運転モードの選択、運転条件の設定・変更、シーケンス制御実行の管理を行っている。これらは、キー及びCRT上のライトペンにより容易に操作することができる。

さらに、緊急停止ボタンを操作することにより、HENDELの緊急安全停止が自動的に、迅速に行うことができる。

プロセス入出力装置及びインターフェースは、シーケンス制御上必要な指令、信号及び制御ル

への設定値や制御パラメータの設定変更等に関する情報を分散型計装システムに伝送し、又は分散型計装システムの情報（現在値、現場機器の状態等）を受け入れている。

HENDELのシーケンス制御のプログラム（シーケンス）は、操作内容ごとに別れていて、番号（SEQ No）で登録されている。さらに、その操作ブロックごとにブロック番号、ブロック内の操作ステップごとにステップ番号をつけてシーケンスの進行がわかり易いように表示されている。

シーケンスはAUTO. 1からAUTO. 3までモードがあり、ボタンを押すだけでシーケンスを最後まで進めてしまう（AUTO. 1）、ブロックごとにシーケンスを進める（AUTO. 2）、ステップごとにシーケンスを進める（AUTO. 3）に別れていて、運転員がそのモードを選択できるようになっている。

自動運転における運転モードの監視、データの設定等をキーボード及びライトペンにより行う事が出来る。

運転モードの監視は、自動運転を行っているループの表示、選択起動している機器の表示等である。

また、目標値とその傾斜の設定をパラメータ画面より行う事により自動運転中の設定値変更が容易に行える。

さらに、非常時における異常処理シーケンスも備えており、安全上、必要最低限の機器の起動、冷却水の確保等を行っている。

これらのシーケンスの運転モード、運転条件、各種パラメータは、あらかじめ周辺機器（カードリーダー）より設定することができる。

(4) バックアップシステム

HENDELの運転中に分散型計装システムが故障によって停止しても、HENDELの主要な機器等の運転操作は、安全かつ確実に継続できるようにしなければならない。そのため最少限のバックアップ調節計、手動操作機器、手動操作開閉機器等を設置している。

バックアップ調節計は、必要最少限のコントロールモジュールと表示器が設置されている。手動操作機器は、ヒ-タ-等の投入用スイッチ等があり無条件で投入・遮断ができる。さらに、手動操作開閉機器は、電動弁等の弁操作等が行える。

(5) 安全防護システム

HENDELの安全保護動作は、分散型計装システムによっておこなっているが、それとは独立して安全防護システムを設けている。

このシステムは、手動緊急停止ボタン、記録計、ロジック回路等により構成されており、制御機器操作回路の遮断等のインターロックが常に安全側に稼働する。

このインターロック回路は、ハード側で組んでいるため、非常時には対応が速いのが特徴である。

(6) グラフィック盤

HENDELの各系統の運転状態を総合的に把握することができる。また、万一、分散型計装シス

ムが故障して停止していても、HENDELの運転状態を確実に把握できるように照光式のグラフィックパネルを設置し、監視できるようにしている。

(7) 発信器・変換器類

HENDEL各部の温度・圧力・流量・レベル・差圧等は、現場に設置してある熱電対、測温抵抗体、発信器により計測を行っている。

発信器は、0～フルスケールをDC4～20mAで出力している。さらに、変換器では、DC4～20mAをDC1～5Vに変換してDDCに入力している。

また、加熱器入力、ON-OFF状態信号等のプロセス変量は、それぞれ系統の発信器、変換器、増幅器類を経由して分散型計装システムに入力されている。

2.9 データ処理システム

2.9.1 概要

データ処理システムはスキャナ、SRMシステム、システムコントローラで構成され、HENDELの運転データを取得し、ハードディスクに保存する。SRMで接続されたディスクトップコンピュータから、保存されたデータを読み込み、処理することが出来る。運転中は、データ数1395点を6分毎に収録する。

Fig. 2.19にデータ収録システム機器構成図、Fig. 2.20にSRMシステム構成図を示す。また、Table 2.11～Table 2.15にデータリストを示す。

HP9000シリーズ520は、BASICプログラムによりスキャナを制御し、M+A、T₁及びT₂のデータを取得する。取得されたデータはSRMネットワークを介し、SRMコントローラに接続されたハードディスク(: REMOTE; LABEL Data_files)に保存する。SRMネットワークに接続されたワークステーションによって、運転中のデータを確認することは勿論、データを使って、グラフ表示させることもできる。また、運転終了後にデータを読み込み、各種プレゼンテーションの作成等を行うことが出来る。

運転中にハードディスクの容量不足が生じないように、1回の運転が終了する毎に、運転中のデータはテープに保存し、次の運転前にハードディスクを空の状態にする。

2.9.2 主要構成機器

(1) システムコントローラ

システムコントローラは、ディスクトップコンピュータとハードディスク、テープドライブ、各種インターフェイスカードで構成されている。ディスクトップコンピュータは、2ユニット32ビットCPUを持つシングルユーザ、マルチタスクのBASICオペレーティングマシンである。

1) ディスクトップコンピュータ

製造メーカー	: ヒューレットパッカード社
型 式	: HP-9000シリーズ500 モデル9020A
内蔵機器	: CPUボード 97043A (32ビット) ×2 RAMボード 97040A (256KB) ×2, 97047A (512KB) ×4

I/Oプロセッサ	97041A
HP-IBインターフェイス	27110A
非同期シリアルインターフェイス	27123A
ウインチエスタディスク	10MB

2) I/Oエクスパンダ

HP-IBインターフェイス : 27110A×7

SRMインターフェイス : 27123A×1

3) ハードディスク : HP7914P (132MB)

カセットテープドライブ内蔵

(2) SRMシステム

SRMシステムは、HP製コンピュータのネットワークを構成するもので、コントローラにディスクトップコンピュータを使用し、ネットワーク全体の共用記憶装置、テープドライブ、及び各種インターフェイスカードを有している。

1) 製造メーカー	: ヒューレットパッカード社
2) 型式	: HP-9000シリーズ200 モデル9920A
3) キーボードインターフェイス	: 9920A
4) HP-IBインターフェイス	: 98624A
5) CRTインターフェイス	: 98204A
6) ディスクインターフェイス	: 98625A
7) SRMインターフェイス	: 98629A×2
8) ハードディスク	: HP7914P (132MB) カセットテープドライブ内蔵
9) SRMマルチプレッサー	: 98028A

(3) スキャナ

1) M+Aループデータ

製造メーカー	: 横河電機株式会社
型 式	: YODAC-85S (Model 3848)
測 定 点 数	: 500点
操 作 速 度	: 10点／秒 5/3点／秒
イ ンターフェイ ス	: GP-IB

2) T₁試験部試験計装データ

製造メーカー	: 日本電気三栄株式会社
型 式	: 7V14
測 定 点 数	: 200点×2台
操 作 速 度	: 40点/秒 (20ms積分値)
イ ンターフェイ ス	: GP-IB

3) T₂試験部試験計装データ

製造メーカー : 日本電気三栄株式会社
 型式 : 7V14
 測定点数 : 200点×2台
 操作速度 : 40点/秒 (20ms積分値)
 インターフェイス : GP-IB

4) ガス循環機又はT₂_Temp_Testデータ

製造メーカー : 日本電気三栄株式会社
 型式 : 7V14
 測定点数 : 170点
 操作速度 : 40点/秒 (20ms積分値)
 インターフェイス : GP-IB

5) T₁及びT₂試験部のプラント計装データ

T₁試験部のプラント計装データは、T₁試験部の計測制御系であるYEWPACKからのデータをYEWPA CKのGP-IBインターフェイスであるCUIA経由で、工業単位の形で収集している。同様にT₂試験部のプラント計装データは、T₂試験部の計測制御系であるCENTUMからのデータをCENTUMのGP-IBインターフェイスであるCGWU経由で工業単位の形で収集している。

3. 運転実績

3. 1 各運転サイクルの試験項目と実績

HENDELは、現在、建設中の高温工学試験研究炉（HTTR）の燃料体、原子炉圧力容器炉床部等の高温機器を実機と同じ条件下で実証試験を行うために建設された、国内唯一の大型ヘリウムガス試験研究装置である。HENDELによる実証試験の結果は、HTTRの詳細設計、原子炉設置の安全審査及び「設計及び工事の方法の認可」（設工認）等に活用され、平成4年度までにHENDEL試験部による実証試験をほぼ終了し、5年度と6年度は施設の保全管理を行い、7年度からはHTTRの機能試験関連試験を進めている。

これまでにM+Aループ、T₁試験部及びT₂試験部における実証試験及び技術開発試験で得られた主な成果は、次の通りである。

(1) M+Aループによる技術開発試験では、

(a) ガス軸受方式の大型ガス循環機

○循環機性能の把握

(b) ガス精製システム

○精製性能の把握

○磁気軸受方式ガス循環機の開発と利用

(c) 運転制御システム

○計算機支援型運転制御システムの開発

3) T₂試験部試験計装データ

製造メーカー : 日本電気三栄株式会社
 型式 : 7V14
 測定点数 : 200点×2台
 操作速度 : 40点/秒 (20ms積分値)
 インターフェイス : GP-IB

4) ガス循環機又はT₂_Temp_Testデータ

製造メーカー : 日本電気三栄株式会社
 型式 : 7V14
 測定点数 : 170点
 操作速度 : 40点/秒 (20ms積分値)
 インターフェイス : GP-IB

5) T₁及びT₂試験部のプラント計装データ

T₁試験部のプラント計装データは、T₁試験部の計測制御系であるYEWPACKからのデータをYEWPA CKのGP-IBインターフェイスであるCUIA経由で、工業単位の形で収集している。同様にT₂試験部のプラント計装データは、T₂試験部の計測制御系であるCENTUMからのデータをCENTUMのGP-IBインターフェイスであるCGWU経由で工業単位の形で収集している。

3. 運転実績

3. 1 各運転サイクルの試験項目と実績

HENDELは、現在、建設中の高温工学試験研究炉（HTTR）の燃料体、原子炉圧力容器炉床部等の高温機器を実機と同じ条件下で実証試験を行うために建設された、国内唯一の大型ヘリウムガス試験研究装置である。HENDELによる実証試験の結果は、HTTRの詳細設計、原子炉設置の安全審査及び「設計及び工事の方法の認可」（設工認）等に活用され、平成4年度までにHENDEL試験部による実証試験をほぼ終了し、5年度と6年度は施設の保全管理を行い、7年度からはHTTRの機能試験関連試験を進めている。

これまでにM+Aループ、T₁試験部及びT₂試験部における実証試験及び技術開発試験で得られた主な成果は、次の通りである。

(1) M+Aループによる技術開発試験では、

(a) ガス軸受方式の大型ガス循環機

○循環機性能の把握

(b) ガス精製システム

○精製性能の把握

○磁気軸受方式ガス循環機の開発と利用

(c) 運転制御システム

○計算機支援型運転制御システムの開発

(d) 大型ヘリウムガスループの保守管理技術ノウハウの蓄積

(2) T_1 試験部による炉心部実証試験及び技術開発試験では、(a) 1チャンネル試験装置 (T_1-S) による試験

- 燃料チャンネルの伝熱流動特性の把握：設計式の導出
- 燃料棒黒鉛スリーブの加工技術の確立：燃料棒の製作技術
- 制御棒駆動装置の信頼性データの取得：制御棒駆動装置の信頼性と制御要素の健全性を確認
- 高温高圧下での温度及び差圧の計測技術を確認：燃料棒への熱電対取付技術と高压条件下での微小差圧測定技術開発

(b) 多チャンネル試験装置 (T_1-M) による試験

- ピン・イン・ブロック燃料体の伝熱流動特性の把握：通常運転時及び流路閉塞、クロス流れ発生時の伝熱流動特性の把握
- 燃料体黒鉛ブロックの加工技術の確立：燃料体スタックの製作技術
- 高温高圧下での温度及び流量計測技術の確立：黒鉛ブロックへの熱電対取付技術と燃料体内の微小流量計測技術開発

(3) T_2 試験部による炉床部構造物実証試験及び技術開発試験では、

(a) 炉内構造物の製作技術の確立

- 大型黒鉛、炭素ブロックの加工、組立技術
- リングフォージング法によるCr-Mo鋼製圧力容器の製作技術

(b) 炉床部のシール特性

- 固定反射体ブロックからプレナム部への低温ヘリウムガス漏洩量の把握

(c) 炉床部での高温ヘリウムガスの混合特性

- 高温プレナム及び高温出口管部におけるヘリウムガスの混合特性の把握

(d) 炉床部構造物の健全性確認

- 炉床部炭素ブロックの断熱性能把握（炉床部各部温度は設計温度以下）

(e) 高温配管の開発

- 高温配管の断熱性能の把握と高温健全性確認

(f) 圧力容器主法兰ジ部のシール特性

- 二重Oリングシールによるヘリウムガス無漏洩を確認

(g) 出口ガス温度計測用熱電対の交換

- 交換技術の確立と熱電対の健全性確認

HENDELは、1982年3月に完成して以来、延べ40サイクルの運転と、保全のための部分運転を行ってきた。各サイクルの運転期間、試験項目及び運転実績を以下の表に示す。また、各サイクルの運転実績を線図にしたもの（運転時間に対応する系統圧力、流量、温度等）をFig. 3.1に示す。なお、これらの表及び図は1982年3月から1995年2月までの運転についてまとめたものである。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 1	1982. 6. 21～ 1982. 7. 10	1. M ₁ ル-フ° 定格条件の確認試験 2. M ₂ +Al-フ° 定格条件の確認試験 3. M ₁ ル-フ° 単体機器特性試験 4. Al-フ° 加熱器H ₃₁ 、H ₃₂ 漏洩電流の確認	1982年2～3月の検収運転終了後、次に示す試験を行った。 M ₁ ル-フ° は定格条件(温度400°C、圧力40kg/cm ² G、流量0.4kg/s)の確認試験を実施した。また、ガス循環機(B1)の特性試験を実施した。 M ₂ +Al-フ° は定格条件(温度1000°C、圧力40kg/cm ² G)の確認試験を実施した。
No. 2	1982. 9. 20～ 1982. 10. 26	1. ガス循環機 (B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃) の特性試験 2. 加熱器 (H ₂ , H ₃₁ , H ₃₂) の特性試験 3. 冷却器 (C ₂ , C ₃₁ , C ₃₂) の特性試験 4. T ₂ 模擬リ-ク回収試験及び圧力制御特性試験 5. ガス循環機 (B ₁) 特性試験	ガス循環機 (B ₂₁ , B ₂₂) の特性試験、B ₃ MG機能試験及びガス循環機 (B ₂₃) の特性試験を実施した。 加熱器 (H ₂ , H ₃₁ , H ₃₂)、冷却器 (C ₂ , C ₃₁ , C ₃₂) の特性試験では約100時間の高温運転 (900°C) の実績を得た。 将来M ₂ +Al-フ° に接続されるT ₂ 試験部を模擬したリ-ク回収試験及び圧力制御特性試験を実施した。
No. 3	1983. 2. 10～ 1983. 3. 10	1. T ₁ 試験部総合機能試験 2. 高温配管特性試験	T ₁ 試験部の総合機能試験は、ループのヒートバランス、圧力損失及び構成機器の基本特性を確認した。 高温配管特性試験は、温度950°C (Max)、圧力38.8kg/cm ² G、流量0.4kg/sの条件で、各部の温度、熱伝導率及び耐圧管表面の熱流束等を測定した。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 4	1983. 5. 18～ 1983. 5. 31	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. 高温配管特性試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル及び多チャンネル試験体の圧力損失、熱伝達、流量配分及び内蔵冷却器の伝熱特性を求めた。 高温配管特性試験は、熱伝達率と熱放射率の影響による耐圧管表面温度を測定した。
No. 5	1983. 6. 20～ 1983. 7. 18	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. 高温配管特性試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル及び多チャンネル試験体の圧力損失、熱伝達、流量配分及び内蔵冷却器の伝熱特性試験を実施した。 高温配管特性試験は、有効熱伝達率の圧力依存性による耐圧管表面温度変化を測定した。
No. 6	1983. 12. 5～ 1983. 12. 20	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. ガス循環機 (B ₂₄) 検収試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル試験装置による高温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（非加熱、加熱）、多チャンネル試験装置による中温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（均一出力、傾斜出力）を実施した。 ガス循環機 (B ₂₄) の特性試験では、試験条件における性能及び健全性を満足していることを確認した。
No. 7	1984. 3. 7～ 1984. 3. 27	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. 高温配管特性試験 3. ガス循環機トリップ試験	T ₁ 伝熱流動試験は、No.6サイクルと同じ試験を継続して実施した。 高温配管特性試験は、高温配管表面を強制冷却するための空冷ダクトを設置し、空気温度及び高温配管の温度

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>を測定した。</p> <p>$M_2 + A$ガス循環機トリップ試験は、将来$M_2 + A$ループに接続されるT_2試験部を模擬し、循環機トリップ時の炉内構造物の冷却特性試験を実施した。</p>
No. 8	1984. 5. 23～ 1984. 6. 5	1. ガス循環機(B_{21} 、 B_{22} 、 B_{23} 、 B_{24}) 振動特性試験 2. 高温配管特性試験 3. ガス循環機トリップ試験	<p>ガス循環機の異常を早期発見する為の振動特性試験を実施した。</p> <p>高温配管特性試験は、熱伝達率と熱放射率の影響による耐圧管表面温度を測定した。</p> <p>ガス循環機トリップ試験は、前サイクルと同じ試験を行った。</p>
No. 9	1984. 6. 27～ 1984. 7. 17	1. 高温配管特性試験 2. T_2 模擬圧力制御特性試験	<p>高温配管特性試験は、前サイクルと同じ試験を行った。</p> <p>T_2模擬圧力制御特性試験は、圧力変動時の制御装置の制御特性を把握した。</p>
No. 10	1984. 10. 17～ 1984. 11. 14	1. T_1 伝熱流動試験 2. 高温配管特性試験 3. T_2 模擬差圧制御特性試験	<p>T_1伝熱流動試験は、1チャンネル試験装置による高温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（非加熱、加熱）、多チャンネル試験装置による中温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（均一出力、傾斜出力）を実施した。</p> <p>多チャンネル試験装置による中温用模擬燃料棒の伝熱流動試験は終了した。</p> <p>高温配管特性試験は、前サイクルと同じ試験を行った。</p> <p>T_2模擬差圧制御特性試験は、ループ</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			の圧力と漏れ流路間差圧の同時制御の可能性を確認した。
No. 1 1	1985. 3. 6～ 1985. 3. 27	1. T ₁ 自然循環試験 2. ガス循環機振動特性試験	M ₁ ループのがス循環機 (B ₁) が使用不可能なためT ₁ 多チャンネル試験装置で自然循環試験を実施した。 ガス循環機振動特性試験は、No.8サイクルと同様、異常を早期発見する為の振動特性試験を実施した。
No. 1 2	1985. 7. 22～ 1985. 8. 1	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. ガス循環機振動特性試験 3. T ₂ 模擬差圧制御特性試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル試験装置による高温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（非加熱、加熱）を実施した。 ガス循環機振動特性試験は、No.11サイクルと同じ試験を実施した。 T ₂ 模擬差圧制御特性試験は、No.10サイクルと同じ試験を実施した。
No. 1 3	1985. 10. 9～ 1985. 10. 30	1. T ₁ 伝熱流動試験	1チャンネル試験装置は、前サイクルと同じ試験を行った。 多チャンネル試力制御特性試験は、高温用模擬燃料棒の伝熱流動試験（均一出力、傾斜出力）を実施した。
No. 1 4	1985. 11. 20～ 1985. 12. 4	1. T ₁ 伝熱流動試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル試験装置及び多チャンネル試験装置とも前サイクルと同じ試験を実施した。
No. 1 5	1986. 2. 26～ 1986. 3. 12	1. T ₁ 伝熱流動試験	T ₁ 伝熱流動試験は、1チャンネル試験装置は、制御棒流動試験、多チャンネル試験装置は、自然循環試験を実施した。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 1 6	1986. 4. 16～ 1986. 4. 25 1986. 5. 8～ 1986. 6. 6	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. T ₂ 試験部総合機能試験	T ₁ 伝熱流動試験は、前サイクルと同様 1チャンネル試験装置は、制御棒流動試験 多チャンネル試験装置は、自然循環試験 を実施した。 T ₂ 試験部の総合機能試験は、常温 流動及び加熱流動試験を実施した。
No. 1 7	1986. 6. 18～ 1986. 7. 9	1. T ₁ 伝熱流動試験 2. T ₂ 試験部運転習熟訓練	T ₁ 伝熱流動試験は、前サイクルと同様 1チャンネル試験装置は、制御棒流動試験 多チャンネル試験装置は、自然循環試験 を実施した。 T ₂ 試験部は、運転習熟訓練及び異 常措置訓練運転を実施した。
No. 1 8	1986. 10. 22～ 1986. 11. 18	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S伝熱流動試験 (2) T ₁ -M流路閉塞試験 2. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 試験体漏洩試験 (3) 炉床部断熱特性試験 (4) 領域別ヒータ極低出力試験	1チャンネル試験装置では中温用模擬燃 料棒を用いて、燃料棒加熱部の表面 温度測定精度の検証と、温度分布状 態の把握を行った。 多チャンネル試験装置では12本の流路の うち1本の流路入口部を閉塞させ試 験炉で想定されている冷却材流路閉 塞事故を模擬した試験を行った。 T ₂ 試験部では温度1000°Cで高温ア ルミニウム内のヘリウムガス混合特性試験、領域 別ヒータの出口ガスに温度差を与え傾斜 出力時の試験体漏洩試験、及び高温 アルミニウム部ガス温度が不均一の場合の炉 床部の断熱特性試験を行った。 また、領域別ヒータの構造変更後 の極低出力試験を行い異常の無いこと を確認した。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 19	1987. 2. 4～ 1987. 2. 24	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S伝熱流動試験 (2) T ₁ -M流路閉塞試験 2. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験	1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き中温用模擬燃料棒を用いて、燃料棒の伝熱流動試験を行った。 多チャンネル試験装置では12本の流路のうちNo.6チャンネルの流路を閉塞させ、非加熱等温流動条件下で冷却材流路閉塞事故を模擬した試験を行った。 T ₂ 試験部では前サイクルに引き続き高温プロペラム内のヘリウムガス混合特性試験を行った。
No. 20	1987. 5. 13～ 1987. 6. 9	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S伝熱流動試験 (2) T ₁ -M流路閉塞試験 2. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 試験体漏洩試験 (3) 試験部内圧力損失の計測	1チャンネル試験装置では軸方向に正弦波状の発熱分布を有する高温試験用模擬燃料棒を用いて伝熱流動試験を行った。 多チャンネル試験装置では加熱流動条件下で冷却材流路閉塞試験を行った。 T ₂ 試験部では加熱器H ₃₂ が故障の為、温度400°Cでの低温における高温プロペラム内のヘリウムガス混合特性試験及び試験体漏洩試験を行った。 また、試験炉の出口二重管の内管破損時におけるヘリウムガス流量変化を確認するため、高温流路のヘリウムガス流量を急激に変化させてT ₂ 試験部内の圧力損失の計測を行った。
No. 21	1987. 6. 24～ 1987. 7. 21	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S伝熱流動試験 (2) T ₁ -M流路閉塞試験	1チャンネル試験装置では軸方向に正弦波状の発熱分布を有する高温試験用模擬燃料棒を用いて伝熱流動試験を行った。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
		2. T ₂ 試験部	多チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き加熱流動条件下で冷却材流路閉塞試験を行った。 T ₂ 試験部では、加熱器H ₃₂ の故障の為試験は行わなかった。
No. 2 2	1987. 10. 21～ 1987. 11. 17	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 (2) T ₁ -Mクロスフロー試験 2. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 試験体漏洩試験 (3) 自然循環試験	1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛ブリーフに三角状突起とV字形溝を設け、乱流促進機能を有する構造とした高性能模擬燃料棒で伝熱流動試験を行った。 多チャンネル試験装置では黒鉛製模擬燃料ブロックの3段と4段の積層面に約2mmの隙間（平行ギャップ）を設け、冷却材流路間にクロスフローが生じた場合の伝熱流動特性試験を行った。 T ₂ 試験部では、加熱器H ₃₂ が故障の為温度100～200℃に制限されたので、低温での高温プレナム内混合試験、試験体漏洩試験を行った。 また、試験炉の減圧事故や炉心冷却材喪失事故を模擬した自然循環試験を行った。
No. 2 3	1988. 2. 10～ 1988. 3. 1	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 (2) T ₁ -Mクロスフロー試験 2. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験	1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒に乱流促進機能を設けた高性能模擬燃料棒で伝熱流動試験を行った 多チャンネル試験装置では前サイクルと同様クロスフロー試験を行った。 T ₂ 試験部では、加熱器H ₃₂ の故障の為低温での高温プレナム内混合試

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			験を行った。
No.24	1988.5.18~ 1988.6.14	1. M+Aループ (1) 冷却器 (C_{31}) 除熱特性試験 (2) ガス循環機停止特性試験 2. T_1 試験部 (1) T_1 -S制御棒駆動装置信頼性試験 (2) T_1 -M熱過渡特性試験 (3) T_1 -Mクロスフロー試験 3. T_2 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 試験体漏洩試験 (3) 断熱特性試験 (4) 高温プレナム内外差圧測定試験	冷却器 C_{31} の冷却性能が M+A 総合機能試験時 (運転時間約 8,000 時間) と比較してどのようにになっているか伝熱性能確認試験を行った。 また、ガス循環機がトリップしたときの圧力損失等による系統の影響を知るため循環機のランダウ特性試験行った。 1チャンネル試験装置では、試験炉と同等規模の制御棒駆動装置の機能及び信頼性大気中試験を行った。 多チャンネル試験装置では、瞬間に模擬燃料棒の発熱量と冷却材流量を激減させ炉心異常時を想定した熱過渡特性試験と前サイクルと同様クロスフロー試験を行った。今サイクルから黒鉛製模擬燃料ブロックの3段と4段の積層面の隙間 (平行ギャップ) を約1mmに変更した試験を行った。 T_2 試験部では、加熱器 H_{32} が使用出来ないため温度400°Cで高温ブレム内混合試験及び試験体漏洩試験を行った。 また、高温ブレム内外差圧の変化がどのように炉床部の温度分布に影響するか断熱特性試験と流量変動によって変化する高温ブレム内外差圧を測定し試験炉の出口二重管破損検知確認模擬試験を行った。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 2 5	1988. 7. 6～ 1988. 7. 26	1. M+Aループ (1) 冷却器 (C ₃₁) 除熱特性試験 (2) ガス循環機停止特性試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S制御棒駆動装置信頼性試験 (2) T ₁ -M熱過渡特性試験 (3) T ₁ -Mクロスフロー試験 3. T ₂ 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 断熱特性試験 (高温出口二重管 内部断熱層) (3) 高温プレナム内外差圧測定試験	前サイクルに引き続き冷却器C ₃₁ の冷却性能確認試験を入口温度400～600℃で行った。 また、ガス循環機がトリップしたときの圧力損失等による系統の影響を知るため循環機のランダウ特性試験を常温、圧力1.4MPaのヘリウムガス条件でM ₂ -IIループで行った。 1チャンネル試験装置及び多チャンネル試験装置では、前サイクルに引き続き制御棒駆動装置信頼性試験とクロスフロー試験を行った。 T ₂ 試験部では、温度600℃での高温アレキム内混合試験、高温出口二重管内部断熱層の断熱特性試験及び高温アレキム内外差圧測定試験を試験炉のルーバー構成に近いM ₂ -IIの直列ルーバーを構成して行った。
No. 2 6	1988. 10. 19～ 1988. 11. 15	1. M+Aループ (1) 冷却器 (C ₃₁) 除熱特性試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S制御棒駆動装置信頼性試験 (2) T ₁ -Mクロスフロー試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験	前サイクルに引き続き冷却器C ₃₁ の冷却性能確認試験を入口温度600～900℃、圧力4.0MPa流量3.0～4.0kg/sで行った。 1チャンネル試験装置及び多チャンネル試験装置では、前サイクルに引き続き制御棒駆動装置信頼性試験とクロスフロー試験を行った。今サイクルから黒鉛製模擬燃料ブロックの3段と4段の積層面の隙間（平行ギャップ）を約0.5mmに変更した試験を行った。 T ₂ 試験部では、温度900℃圧力4.0

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			MPaでの試験体漏洩試験でシール性能等の経年変化及び健全性確認試験を行った。また、前サイクルに引き続き高温出口二重管内部断熱層及び炉床部の断熱特性試験を行った。
No. 27	1989. 2. 1～ 1989. 2. 23	1. M+Aループ (1) 冷却器 (C_{31}) 除熱特性試験 (2) ガス循環機 (B_{21}) 軸受特性試験 2. T_1 試験部 (1) T_1 -S制御棒駆動装置信頼性試験 (2) T_1 -Mクロスフロー試験 3. T_2 試験部 (1) 断熱特性試験	前サイクルに引き続き冷却器 C_{31} の冷却性能確認試験を入口温度400～900℃圧力2.0～4.0MPa, 流量3.0～4.0kg/sの条件で行った。 また、遠心式ガス循環機のジャーナル軸の振れ廻り(ホリ-ル)現象に与える因子の一つであるインペラ-に作用する外力と昇圧値との関係を調べた。 1チャンネル試験装置及び多チャンネル試験装置では、前サイクルに引き続き制御棒駆動装置信頼性試験とクロスフロー試験を行った。 T_2 試験部では、前サイクルに引き続き高温出口二重管内部断熱層の断熱特性試験を行った。
No. 28	1989. 5. 17～ 1989. 6. 13	1. T_1 試験部 (1) T_1 -S高性能燃料棒伝熱流動試験 2. T_2 試験部 (1) 高温プレナム内混合試験 (2) 試験体漏洩試験	1チャンネル試験装置では試験炉で使用される標準燃料棒(A形ピン)の仕様を模擬した高温用模擬燃料棒で伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。 T_2 試験部では、高温側900℃低温側400℃での最終の高温プレナム内混合試験を行った。 また、温度400、950℃、圧力4.0MPa

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			での試験体漏洩試験でシール性能等の経年変化及び健全性確認試験及び前サイクルに引き続き高温出口二重管内部断熱層の断熱特性試験を行った。
No.29	1989.7.5～ 1989.7.25	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 2. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験	1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される高温用標準模擬燃料棒(A形ピン)を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。 T ₂ 試験部では、加熱器H ₃₂ が故障のため温度400℃、圧力4.0MPaでの試験体漏洩試験と前サイクルに引き続き高温出口二重管内部断熱層の断熱特性試験を行った。
No.30	1989.10.18～ 1989.11.14	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置機能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 (2) T ₁ -Mクロスフロー試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験 (3) 圧力容器フランジ部リーキ試験	ヘリウムガス精製装置機能試験では、いくつかの不具合が生じたが、シーケンスやプロセス上の不具合はその都度修正して制御上の問題点は解決した。また、磁気軸受を採用しピストンとシリカゴムが無接触となるようにした往復運動式ヘリウムガス循環機B ₅₅₂ の性能試験も併せて行った。 1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛刈りフ'にリング'状矩形突起物を設け、乱流促進機能を有し、試験炉で使用される高性能燃料棒(B形ピン)の形状仕様を模擬した燃料棒(ピッチ/高比 P/H=10)で伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>多チャンネル試験装置では黒鉛製模擬燃料ブロックの3段と4段の積層面に最大2mmの楔形ギャップを設け、冷却材流路間にクロスフローが生じた場合の伝熱流動特性試験を行った。</p> <p>T₂試験部では、高温条件(950℃) 中温条件(700℃)、低温条件(400℃)についてそれぞれ試験体漏洩試験を行った。</p> <p>断熱特性試験は、前サイクルに引き続き高温出口二重管内部断熱層、炉床部の断熱特性試験及び低温側ヘリウムガス冷却特性を調べた。</p> <p>また、圧力容器フランジ部リーキ試験を開始した。</p>
No.3 1	1990.1.31～ 1990.2.27	1. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 (2) T ₁ -Mクロスフロー試験 2. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験 (3) 圧力容器フランジ部リーキ試験	<p>1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される中温用標準模擬燃料棒(B形ピン)を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。</p> <p>多チャンネル試験装置では前サイクルに引き続きクロスフロー試験を行った。</p> <p>T₂試験部では、高温条件(950℃) 中温条件(700℃)、低温条件(400℃)についてそれぞれ試験体漏洩試験を行いシール部等の経年変化を調べた。</p> <p>また、前サイクルに引き続き炉床部の断熱特性試験、低温側ヘリウムガス冷却特性及び圧力容器フランジ部リーキ試験を行った。</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No. 3 2	1990. 5. 16～ 1990. 6. 12	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置循環機性能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験 (3) 圧力容器フランジ部リーキ試験	磁気軸受（能動形）式往復動式ヘリウム循環機B ₅₅₂ の性能向上のため、ピストンとシリンダの隙間が125 μmから50 μmとなるようピストンを製作取付、性能試験を行った。 1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛刈り-アにリング状矩形突起物を設け、乱流促進機能を有し、試験炉で使用される高性能燃料棒(B形ピン)の形状仕様を模擬した燃料棒(ヒッチ/高比 P/H=20)で伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。 T ₂ 試験部では、前サイクルに引き続き高温条件(950 °C)中温条件(700°C)、低温条件(400°C)についてそれぞれ試験体漏洩試験、炉床部の断熱特性試験、低温側ヘリウム冷却特性及び圧力容器フランジ部リーキ試験を行った。
No. 3 3	1990. 7. 4～ 1990. 7. 24	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体高差圧試験 (2) 自然循環試験 (3) 圧力容器フランジ部リーキ試験	H ₂ 、CO、CO ₂ 、N ₂ 、O ₂ 、CH ₄ の不純物ガスを強制的に注入し、ヘリウムガス精製装置の性能試験を行った。 1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される中温用標準模擬燃料棒(B形ピン)を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。 T ₂ 試験部では、試験体漏洩試験の延長として固定反射体内外のヘリウムガスの圧力差を大きくして、低温ヘリウムの漏洩量の変化と固定反射体の温

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>度分布の変化特性を調べるために、試験体高差圧試験を行った。</p> <p>炉心冷却材循環停止時における原子炉の伝熱流動特性を明らかにする安全性試験として、高温側温度400℃、低温側温度80℃、流量4kg/s、圧力3MPaの条件に^ア吐入を整定後循環機を停止して自然循環試験予備試験を行った。</p> <p>また、前サイクルに引き続き圧力容器ランジ部リーキ試験を行った。</p>
No.3 4	1990.10.17～ 1990.11.9	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 断熱特性試験 (3) 高温プレナム内混合試験	<p>ヘリウムガス精製装置性能試験は、N₂及びCOを強制注入して精製装置の除去能力の評価試験を行った。</p> <p>1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛スリーブにリング状矩形突起物を設け、乱流促進機能を有し、試験炉で使用される高性能燃料棒(B形ピッジ)の形状仕様を模擬した燃料棒(ヒュッヂ/高比 P/H=40)で伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。</p> <p>T₂試験部では、試験体漏洩試験と高温出口二重管内部断熱層の断熱特性試験を行い、製作当初から性能上に変化がないことを確認した。</p> <p>また、中心領域と周辺領域の流配比の影響による温度分布を調べるために高温プロセス内混合試験を行った。</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No.35	1991.1.23～ 1991.2.19	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 自然循環試験	<p>ヘリウムガス精製装置性能試験では、前サイクルと同様N₂及びCOを強制注入して精製装置の除去能力の評価試験を行った。</p> <p>1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される中温用標準模擬燃料棒(B形ピ')を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。</p> <p>T₂試験部では、前サイクルに引き続き同条件で試験体漏洩試験を行った。</p> <p>炉心冷却材循環停止時における原子炉の伝熱流動特性を明らかにする安全性試験として、高温側温度500℃、低温側温度50℃、流量4kg/s、圧力2MPaの条件に^p 叮入を整定後循環機を停止して自然循環試験予備試験を行った。</p>
No.36	1991.5.15～ 1991.6.11	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) 冷却器C ₂ 、C ₃₁ 、C ₃₂ 除熱特性試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 試験体漏洩試験 (2) 自然循環試験	<p>ヘリウムガス精製装置性能試験では、CO₂を強制注入して精製装置の除去能力の評価試験を行った。</p> <p>冷却器C₂、C₃₁、C₃₂の除熱特性試験で経年変化による伝熱面の熱通過率を求め伝熱管の汚れ状況を確認した。</p> <p>1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛入り^pに高さ(h)0.5mm、幅(w)0.5mmの三角状突起をピッチ(p)5mmでリンク状に配置し、乱流促進機能を有する構造とした高性能模擬</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>燃料棒で伝熱流動試験を行った。</p> <p>T₂試験部では、前サイクルに引き続き同条件で試験体漏洩試験を行った。</p> <p>自然循環試験は、高温側温度700°C、低温側温度150°C、流量3.5kg/s、圧力3MPaで試験炉と同様に高温側と低温側ヘリウムガスの温度差を550°Cで行った</p>
No. 37	1991. 7. 3～ 1991. 7. 23	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) プラント機器異常予知診断予備試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 自然循環試験	<p>ヘリウムガス精製装置性能試験は、H₂、CO、CO₂、N₂、O₂、CH₄を強制的に注入して装置の除去能力の評価試験を行った。</p> <p>プラント機器異常予知診断予備試験は、No.20、30、36サイクルで冷却器C₃₂に断続的に異音が発生し、冷却器C₃₂出口冷却水流量もハンチングした。異音の前兆を計測するため冷却器C₃₂の周囲に加速度センサを取り付、冷却器C₃₂へ流入するヘリウムガスの流量と温度変化による影響を調べた。</p> <p>1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される三角突起中温用標準模擬燃料棒を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。</p> <p>T₂試験部では、前サイクルに引き続き高温側温度700°C、低温側温度150°C、流量1.5kg/s、圧力1MPaで試験炉と同様に高温側と低温側ヘリウムガスの温度差を550°Cで自然循環試験を行った。</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
No.38	1991.10.23～ 1991.11.19	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 自然循環試験 (2) 二重管－単管移行部健全性試験	ヘリウムガス精製装置性能試験では、H ₂ を強制注入して精製装置の除去能力の評価試験を行った。 1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛刈り-ア'に高さ(h)0.5mm、幅(w)0.5mmの三角状突起をピッチ(p)10mmでリンク'状に配置し、乱流促進機能を有する構造とした高性能模擬燃料棒で伝熱流動試験を行った。 T ₂ 試験部では、前サイクルに引き続き高温側温度700°C、低温側温度150°C、流量1.5kg/s、圧力1及び3MPaで試験炉と同様に高温側と低温側ヘリウムガスの温度差を550°Cで自然循環試験を行った。 また、試験炉に付設する熱利用系の接続単管部の断熱・構造設計及び強度計算に必要なデータ取得のため二重管－単管移行部健全性試験を行った。
No.39	1992.1.29～ 1992.2.25	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) プラント機器異常予知診断予備試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 自然循環試験 (2) 二重管－単管移行部健全性試験	ヘリウムガス精製装置性能試験では、CH ₄ を強制的に注入して精製装置の除去能力の評価試験を行った。 また、No.37サイクルで実施した冷却器C ₃₂ の異音発生再現性試験を行った 1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される三角突起中温用標準模擬燃料棒を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>T₂試験部では、前サイクルに引き続き高温側温度700℃、低温側温度150℃、流量1.5kg/s、圧力1及び2MPaで試験炉と同様に高温側と低温側ヘリウムガスの温度差を550℃で自然循環試験を行った。</p> <p>また、試験炉に付設する熱利用系の接続単管部の断熱・構造設計及び強度計算に必要なデータ取得のため二重管-単管移行部健全性試験を行った。</p>
H4-1 部分運転	1992.6.16～ 1992.7.21	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) ヘリウムガス精製装置冷却器性能試験 (3) 運転管理技術開発試験	<p>ヘリウムガス精製装置の性能試験では、COを強制注入して酸化銅ベッドのCOの酸化しきい値温度確認試験及びモニターシング冷却器の冷却を液化空素冷却方式から冷水冷却方式に変更後の機能試験を行った。</p> <p>また、運転管理技術開発試験では、ヘリウムガス精製装置の正常運転時のデータの取得を行った。</p>
No.40	1992.10.19～ 1992.11.20	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) 冷却器C ₂ 、C ₃₁ 、C ₃₂ 除熱特性試験 (3) 運転管理技術開発試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験 3. T ₂ 試験部 (1) 自然循環試験	<p>ヘリウムガス精製装置の性能試験では、COを強制注入して酸化銅ベッドのCOの酸化率が100%になる時の酸化温度確認試験を行った。</p> <p>冷却器C₂、C₃₁、C₃₂の除熱特性試験で経年変化による伝熱面の熱通過率を求め伝熱管の汚れ状況を確認した。</p> <p>また、運転管理技術開発試験では、</p>

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			<p>ヘリウムガス精製装置の起動、系統切り替え、再生及び停止工程の正常運転状態のデータ取得を行った。</p> <p>1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛スリーブに高さ (h) 0.5 mm、幅 (w) 1.0 mm の三角状突起を軸方向に螺旋状に成形した3次元突起形状とし、突起のピッチ (P) は10 mmで軸方向に10度傾けて緩やかな螺旋を描くようにし、乱流促進機能を有する構造とした高性能模擬燃料棒で伝熱流動試験を行った。</p> <p>T₂試験部では、前サイクルに引き続き高温側温度850°C、低温側温度300°C、流量1.5 kg/s、圧力4.0 MPaで試験炉と同様に高温側と低温側ヘリウムガスの温度差を550°Cで自然循環試験を行った。</p>
H4-2 部分運転	1993. 1. 25～ 1993. 2. 17	1. M+Aループ (1) ヘリウムガス精製装置性能試験 (2) 運転管理技術開発試験 2. T ₁ 試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験	<p>ヘリウムガス精製装置性能試験では、H₂を強制注入して酸化銅ベットのH₂の酸化率が100%になる時の酸化温度確認試験を行った。</p> <p>また、運転管理技術開発試験では、前サイクルに引き続きヘリウムガス精製装置の起動、系統切り替え、再生及び停止工程の正常運転状態のデータ取得を行った。</p> <p>1チャンネル試験装置では中温用模擬燃料棒の表面黒鉛スリーブに高さ (h) 0.5 mm、幅 (w) 1.0 mm の三角状突起を軸方</p>

サイクルNo	運転期間	試験項目	運転実績
			向に螺旋状に成形した3次元突起形状とし、今サイクルでは突起のピッチ(P)は20mmとした高性能模擬燃料棒で伝熱流動試験を行った。
H5-1 保全運転	1993. 6. 23～ 1993. 7. 6	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転 2. T ₁ -S試験部 (1) T ₁ -S高性能燃料棒伝熱流動試験	M+Aループでは加熱器出口温度を最高400℃で運転を行い、また、M _p 系の起動及び再生運転を行い制御系等の機能維持確認を行った。 1チャンネル試験装置では前サイクルに引き続き試験炉で使用される三角突起中温用標準模擬燃料棒を使用して伝熱流動試験(等温流試験、加熱試験)を行った。
H5-2 保全運転	1993. 9. 16～ 1993. 9. 28	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転	M+Aループでは前サイクルに引き続き加熱器出口温度を最高400℃で運転を行い制御系等の機能維持確認を行った。
H5-3 保全運転	1994. 2. 21～ 1994. 2. 25	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転	ガス循環機(B ₁ , B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃ , B ₂₄) 加熱器(H ₁ , H ₂ , H ₃₁ , H ₃₂)及び各補機の運転と、MP系の起動停止を実施し機器及び制御系等の機能維持確認を行った。
H6-1 保全運転	1994. 6. 20～ 1994. 6. 24	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転 2. T ₁ -S試験部 (1) 機能維持確認運転	ガス循環機(B ₁ , B ₂₁ , B ₂₂ , B ₂₃ , B ₂₄) 加熱器(H ₁ , H ₂ , H ₃₁ , H ₃₂), T ₁ -Sのヒータ及び各補機の運転と、ヘリウムガス精製装置の起動停止を実施し、機器

サイクルNo.	運転期間	試験項目	運転実績
			及び制御系等の機能維持確認を行った。
H6-2 保全運 転	1994.11.14～ 1994.11.18	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転 (2) M ₂ ループ昇温予備試験	各補機の運転を行い、機器及び制御系等の機能維持確認を行った。 HTTRの機能試験関連試験に係わる窒素ガスによる昇温予備試験をおこなった。
H6-3 保全運 転	1995.2.20～ 1995.2.24	1. M+Aループ (1) 機能維持確認運転 (2) M ₂ ループ昇温予備試験	各補機の運転を行い、機器及び制御系等の機能維持確認を行った。 前サイクルに引き続き、昇温予備試験を行った。

3. 2 運転の操作手順と条件

HENDELの運転操作は、運転計画に基づき起動前準備、試験運転及び停止後点検の順に実施される。起動前準備、運転操作及び運転操作条件を以下に示す。

3. 2. 1 起動前準備

起動前準備は、運転前の点検操作として最も重要な項目で、点検操作はチェックリストやチェックシートに従って行い、毎サイクルごとに膨大な運転準備作業を実施してきた。1サイクルあたりの点検シート類はA4版シートで約400枚にものぼる。起動前準備の主な点検項目は、全系統弁チェック、現場盤操作、電気設備の導通及び絶縁抵抗測定、回転機器の試運転と応急措置訓練として位置付けている商用系電源停電試験等がある。

一般にHENDELのような高温高圧の大型施設における重大事故は、弁の動作不良や誤確認及び操作上の単純ミスで発生する場合が極めて多いのが実状である。HENDELにはヘリウム系、冷却水系、計装用空気系統の各々に手動弁、電動弁及び空装弁等の自動弁が大小合わせて約2500個ある。これらの弁は運転前に一度は必ず、開閉の有無と動作をチェックして安全を確認してきた。

また、各種ポンプ及び圧縮機等の回転機器は、運転前に試運転を行い、経験と五感等で作動状況をチェックし、異常の早期発見と異常のあるものは適切に処置してきた。

HENDELが高温高圧運転中で最も過酷な事態を強いられるトラブルには、商用系電源の停電が想定される。そこで運転前に、商用系電源の停電を想定して「商用系電源停電実地訓練」を実施し、商用電源から非常用電源に円滑に切替わり、安全上必要な機器の運転が確保されることの確認と、異常事態発生時における運転員の異常処置技術の向上を養った。

これらの結果、HENDELでは、昭和57年3月の完成以来今日まで事故もなく安全運転を確保してきた。

3. 2. 2 運転操作

HENDELの運転操作は、M₁+Aループ運転要領、T₁試験部運転要領及びT₂試験部運転要領に従って行う。

HENDELの運転は、試験計画に基づき電源設備、冷却水系、M₀系及びM_P系統の補機設備とM₁ループ、M₂+Aループの本体ループを集中監視制御システムコンソールより必要なシーケンスを選択し順次起動することにより始める。Fig. 3. 2にM₁ループ+T₁試験部、Fig. 3. 3にM₂+Aループ+T₂試験部の標準的な運転の起動停止手順のシーケンスフローを示す。

3. 2. 3 M₁+T₁試験部、M₂+A+T₂試験部の運転操作（昇温・昇圧等）条件

(1) ヘリウムガス精製開始時期

ガスクロマトグラフによる不純物濃度データが正常であることを確認後（最低2時間測定）、M₁+T₁試験部、M₂+A+T₂試験部のヘリウムガスを常温循環させ精製系に接続し、精製運転を開始する。

(2) 升温開始時期

水分等の不純物はループの昇温に伴って発生するので、ヘリウムガスの精製は、ループの昇温と共に進行するのが効果的である。従って精製運転の開始直後から昇温操作に移る。

(3) 昇温・昇圧同時操作(ヘリウムガス閉じ込め運転)

ループをある一定圧力で運転中で、かつ、ヘリウムガス中の不純物が多いときに昇温を行うと、昇温に伴う圧力上昇分を制御するために、不純物を含むヘリウムガスがMu系を通してヘリウムカードルに回収され、カードルを含むMu系全体のヘリウムガス純度が悪くなる。その純度の悪いヘリウムガスが圧力調整の都度、今度はループに供給されるので、いくら精製運転を行っていてもなかなかヘリウムガスの純度は良くならない。従って、最初の高温運転(約700°C以上)を達成し、ヘリウムガスの純度が十分良くなるまでは、原則として昇温と昇圧を同時に使う。

ただし、最初の起動時は温度も圧力も低いので(常温、約20kg/cm²G)、圧力制御は行わないで(圧力制御器2C231=MAN, MV=50%で成り行き)、ループにヘリウムガスを閉じ込めた状態で昇温するのがヘリウムガスの精製運転の面からは有効である。

(4) 昇温ステップ(M₂+A+T₂試験部)

ループを長期間開放した後の運転の場合、水分等の不純物の発生が多い。従って最初の昇温ステップは概ね、200°C、300°C、350°C、400°C、500°C、600°C、700°C、800°C、900°C、950°Cとし、昇温インターロックは遵守する。

各ステップで昇温を一旦ホールドし、ヘリウムガス中の不純物濃度が基準値以下(CO、H₂:5ppm以下(300°C以上の昇温時:10ppm以下)、水分:10ppm以下)になら次昇温操作に移る。例外として、試験日程等の関係で昇温を急ぐ時は、水分濃度が25ppm以下であればインターロックを解除して昇温することが出来る。ただし、降温時には特に制限を設けない。

(5) 温度勾配

急激な温度変化は不純物管理上及び機器の安全管理上望ましくない。また、ヘリウムガスの漏洩は、降温時で温度変化が大きい時に、ガスケット及びボルトの復元力が温度分布の状態によっては機器の収縮に追従できないために発生しやすい。このため、昇温時及び降温時の温度勾配は以下のように設定した。

M ₁ +T ₁ ヒータ	昇温時、降温時	: 50°C/h以下
M ₂ +A ヒータ	昇温時、700°C以上の時	: 15°C/h以下
M ₂ +A ヒータ	昇温時、700°C以下の時	: 20°C/h以下
M ₂ +A ヒータ	降温時、700°C以上の時	: 15°C/h以下
M ₂ +A ヒータ	降温時、700°C以下の時	: 20°C/h以下
T ₂ ヒータ	昇温時、降温時	: 25°C/h以下

(6) 昇圧ステップ

運転サイクル開始時に循環機起動準備のため、常温にてループの圧力を15~20kg/cm²Gにする。その後は昇温ステップに従って、またヘリウムカードルの圧力及び接続状況を考慮して、圧力を段階的に上げて行く。ただし、運転開始直後でヘリウムガス中の不純物濃度が高いときには、ループにヘリウムガスを閉じ込めた状態で昇温するため、系統の圧力は成り行き状態とする。

(7) 圧力勾配

原則としてループの温度変更に要する時間と圧力変更時間が一致するように圧力勾配を次のように定めた。

$M_1 + T_1$	昇圧時、降圧時	: 7.5 kg/cm ² /h以下
$M_2 + A + T_2$	昇圧時、降圧時	: 2.5 kg/cm ² /h以下
M _p 系	昇圧時	: 10 kg/cm ² /h以下
M _p 系	降圧時	: 2.5 kg/cm ² /h以下

(8) 流量勾配

ループの流量を変更すると温度も変化するため、特に小流量時は勾配に注意する必要がある。流量変更は、昇温時は昇温開始に先だって、降温時は降温開始後に行うのを原則とし、温度変更と同時に行う場合はその所要時間が一致するように流量勾配を次のように定めた。

$M_1 + T_1$	100°C以下の時	: 0.2 kg/s/h以下
	100°C以上の時	: 0.025 kg/s/h以下
$M_2 + T_2$	100°C以下の時	: 2.0 kg/s/h以下
	100°C以上の時	: 0.25 kg/s/h以下

(9) 精製系の運転開始時再生及び切り替え方法

運転サイクル前に精製系の開放やガス置換等をした場合は、吸着ベッドの性能が低下している恐れがあるので、サイクル開始直後に精製系は2系統共、精製運転と並行して順次再生を行い、吸着ベッドの吸着能力を回復させる。

その後は、系統に設置して有るガスクロマトグラフで測定した不純物ガス濃度の各成分記録及び水分計の記録を監視し、何れかの不純物ガス濃度が上昇傾向を示した場合は、使用系列の吸着ベッドの性能が限界に近づきつつある兆候であるため、再生を開始する。

(10) $M_2 + A + T_2$ 高温ループ、低温ループ常時精製

温度の如何に関わらず $M_2 + A + T_2$ の高温ループ及び低温ループは、常に精製運転を行う。ただし、高温運転（約700°C以上）達成後等で不純物濃度が低い場合は、 M_1 ループ精製のため精製系を一時的に切り離してもよい。

(11) 加圧冷却水系の電導度制御

加圧冷却水系の電導度はヒドラジンの濃度が一定でも温度が上昇すると電導度も上昇し、一旦上昇すると下げることが困難である。従って、加熱器H₃₂出口ヘリウムガス温度を400°C以上に昇温する場合は電導度を次のように制御した。

常温時（運転開始時時）	:	C361 SV1=4.0 SV2=3.0
加熱器H ₃₂ が400°C以上の時	:	C361 SV1=8.5 SV2=7.0

(12) 運転中の不純物濃度管理

①水分濃度管理

系統の水分濃度による加熱器の昇温インターロック及び昇温インターロック解除基準は以下のとおりとした。

水分濃度 サンプリング箇所	昇温インターロック 水分濃度 (ppm)	昇温インターロック解除 水分濃度 (ppm)
加熱器H ₁ 出口 (A502)	25	20
加熱器H ₂ 入口 (A503)	15	10
加熱器H ₃ 入口 (A504)	15	10

全運転期間にわたり加熱器の昇温インターロックを遵守すること。長期間水分濃度が下がらず、加熱器の昇温が出来ないために試験に支障を来す場合は、加熱器の昇温インターロック解除等について別に協議する。

②水素 (H₂) 及び一酸化炭素 (CO) 濃度管理

H₂及びCOの濃度は5ppmを超えないように運転すること。ただし、300℃以上の昇温運転では以下に述べる④の基準に従うこと。

③M₂+Aループの精製運転

高温側ループ及び低温側ループのいずれもヘリウムガス温度が300℃以上となる場合は、必ず精製系統と接続してヘリウムガスを精製すること。

④ステップ状昇温

ヘリウムガスを300℃以上に昇温する場合は、ステップ状に昇温を行い、100℃昇温する毎にヘリウムガス中のH₂、CO、H₂Oの濃度が、精製運転によりそれぞれ10ppm以下に下がることを確認した後、次の昇温に移行すること。

⑤サンプリング装置の運転

ガスクロマトグラフ及び水分計は、ループにヘリウムガスを充填した後、速やかに運転し、精製運転開始前からヘリウムガスのサンプリングを行うこと。また、運転終了時には、ループ内のヘリウムガスを回収する直前まで出来る限り長期間サンプリングを続けること。

3.3 不具合の発生と対策

HENDELは、完成以来1995年2月まで約22900時間の運転を行い、HTTRを実証するための各種の試験を行ってきた。一方、これまでに種々の不具合（故障、トラブル）が発生したが、これら不具合はHTTRを運転する上で貴重な経験となるものである。

HENDELの運転当初は全般的に初期故障が支配的であったが、近年では経年劣化に起因する不具合が目立ってきた。不具合はその発生原因を十分に調査し、修復（4章で述べる保守作業の時に修

理、改善等の処置を行った)してきた。Table 3.1に、運転で生じた不具合とその対策の概要を示す(記載はNo.40サイクル運転までとした)。

ここでは、不具合を通して、主に運転管理面から得られた技術的知見及び今後の研究開発課題について述べる。

(1) ヘリウムガスの漏洩

ヘリウムガスの漏洩現象については、これまでに漏洩量の大小を含めて数多く経験した。運転中に漏洩が発生した場合、ヘリウムガスインベントリーの減少からリークの発生の有無は確認出来るが、どの部分からどのくらいの量がリークしているのかを確認するためには、ヘリウムガス検知器を携行して、機器を万遍なくチェックしなければならない。この際、機器の外表面を覆っている保温材が検知作業を阻害するなどの問題がある。

このような漏洩検知作業の困難さを改善するためには、全ての機器の漏洩を常時監視し検知する自動モニタリングシステムの開発が今後の課題である。付録2にHENDELのNo.20サイクル運転からH5-2保全運転までのヘリウムガス消費履歴を示す。なお、H5-3保全運転以降は空素ガスを使用したためヘリウムガスを消費していないので、付録2の表には記載していない。

ヘリウムガス漏洩に関するこれまでの運転経験を以下に示す。

①ヘリウムガスの大量の漏洩は、系統の圧力が高く($30\sim40 \text{ kg/cm}^2\text{G}$) 降温時に発生している。漏洩の原因は、系統(M_2+A+T_2 ループ)の温度を 400°C から降温する場合、ヘリウムガス温度が低下するにつれて容器等のフランジ部分の温度も次第に低下していく。しかし、保温材に覆われているボルトは、高温雰囲気中のまま伸びた状態を保つため、フランジ部分に隙間が出来て漏洩が発生するものと推測される。

②圧力容器等のフランジのシール材料としては、グラフォイル製の渦巻形ガスケットをフランジの溝に組み込んだものが多く採用されている。その他、金属製Oリング、ゴム製Oリング、金属製(銀、ステンレス)平型ガスケットなども使用しているが、いずれも漏れた経験がある。

③通常のボルト・ナット締めのフランジにグラフォイル製の渦巻形ガスケットを使用した場合、熱サイクルの影響でガスケットの復元力が低下して漏洩の原因となる。

④ヘリウムガス系の弁の設計仕様として漏洩対策上ベローズシール弁を採用したが、仮にこのベローズが破損してもグランドパッキンがあるので大きな漏洩にはならない(ベローズの破損は経験した)。それよりむしろポンネット(弁蓋)のシール構造の方が重要であり、漏れた場合の影響が大きい。No.29サイクル試験運転では、グラフォイル製の渦巻形ガスケットを使用している M_2 ループの電動弁(口径250A)2台で最大 $110\text{Nm}^3/\text{h}$ の漏洩を経験した。

⑤設備を開放したあとは漏洩の有無を確認するため、その機器の設計圧力以上の圧力で行う気密試験は重要である。設備の気密性能(微少な漏洩)は、系統の真空引きでも確認できるが、この場合は漏洩箇所の特定は不可能である。従って、漏洩箇所の有無を確認するため気密検査を行う。

⑥ガス循環機(B_{23}, B_{24})の格納容器及びフィルター(F_{21}, F_{22})のフランジ閉止板にそれぞれ僅かな歪みがあるため完全なシールは不可能であることが判明した。

これまでのヘリウムガスの漏洩防止対策を以下に示す。

①ボルトの材料に線膨張係数の小さい材質のものの使用や、ボルト締めの時にボルトを暖めて締め付ける(ホットボルティング)等の工夫が必要である。ボイラー等では、マンホール等の開放部

分は運転を開始して容器の温度が上昇したら、必ず増し締めを行っている。この理由は、ボルトが伸びて漏洩するのを防止するためである。

②完全に漏れを防止したい箇所については、フランジ部等はシール溶接構造にした方が良い。加熱器H₁、H₃及び冷却器C₃の鏡フランジは、漏洩防止のためシール溶接を行った。また、加熱器H₃、冷却器C₃の鏡及びマンホールフランジは、金属性Oリング（商品名：ヘリコフレックス）からゴム製Oリング（商品名：バイトン）に変更した。T₂圧力容器のマンホールは、当初金属性Oリング（商品名：ヘリコフレックス）を使用していたが、漏洩防止が不可能なため、フランジ構造を改造してグラフォイル製の渦巻形ガスケットに変更した。

③シール構造部を冷却して熱サイクルを受けさせないこと及び系統の温度変化を緩やかにし（特に降温時）、材料間（ボルト、ナット、フランジ等）の熱膨張差によりフランジ面が開口するのを防止することが大切である。

④フランジを締め付ける場合には、ガスケットが挿入される溝や当たり面については、仕上げ状態及び取付時の塵埃等の管理が重要である。

⑤フランジを締め付ける場合は、ボルトナットの締め付けトルクの管理が重要である。すなわち、ボルトナットの締め付けトルクはネジ山及びフランジ面の摩擦力が大きく影響する。このため、締め付前に十分手入れを行い、接触面での摩擦力をできる限り最小にする。フランジとナットとの摩擦力が大きい場合は、接触部分にステンレス等の薄板を座金として挿入する方法も効果がある。

⑥運転中のヘリウムガス漏洩を早期発見するため、No.30サイクル試験運転から系統内のヘリウムガスの保有量を監視するプログラムを作成し、運転状態とヘリウムガス保有量を常時確認できるシステムにした。このシステムは、各系統を細分化し、その部分の容積と平均温度及び圧力から保有量を算出する方法で、系統のヘリウムガスのおおよその保有量を知ることが出来る。

（2）ヘリウムガス中の不純物ガス対策

当初、運転にともなうヘリウムガス中の不純物ガス濃度管理は、酸素計（2台）、水分計（4台）及びガスクロマトグラフ1台で行っていたため、不純物ガスの発生状況や除去状況を正確に把握することは困難であった。

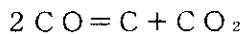
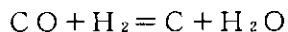
また、試験条件に昇温する場合は、系統内の不純物ガス濃度が10ppm以下でなければ運転できない思想になっていたが、実際にはM_p系の起動が終了して精製運転に入ったら昇温を開始し、酸素計又は水分計の値が設定値以上になった場合に、インターロックが動作して昇温は自動的に一時停止していた。しかし、このインターロックが動作した時は、計器の電源を切って、見かけ上濃度低の信号を出して昇温を強制的に再開していた。

T₂ 試験部が完成した後の検収運転（No.16サイクル試験運転）でも以前と同様な運転方法を実施したため、昇温とともに黒鉛と黒鉛等に吸着している水分とが反応してカーボンが析出し、その輸送現象で、高温ループのフィルターの目詰まりを起こした。その結果、ガス循環機の吐出流量が減少してサージング現象によってトリップした。また、大量に発生した不純物ガスが精製系の酸化銅触媒と反応して水分となり、除去しきれない水分が系内のコールドチャコールベッド内で凍結し、ループの閉塞現象が起きて安全弁が作動した。

カーボン析出の主な反応は、高温状態において次のような水分による黒鉛の酸化反応によってCOが発生し、



これが低温部の金属表面で以下に示す反応によってCOからカーボンが析出する。



カーボン析出によるプラントへの影響を下記に示す。

- ①熱交換器の伝熱管表面の浸炭による脆化
- ②熱交換器の伝熱管表面への付着による伝熱性能の劣化
- ③フィルターの目詰まり
- ④加熱器のヒータの地絡

No.19サイクル試験運転では、T₂試験部の領域別ヒータの貫通電極部分にカーボンが堆積し、この影響で領域別ヒータに地絡現象が発生してトリップした。運転終了後T₂圧力容器及びフィルター(F₂₁、F₂₂)を開放点検したところ、多量の磁性及び導電性を帯びた黒色粉末（大部分がカーボンとFe₃O₄）が堆積していた。

この結果、No.20サイクル試験運転からは不純物ガス濃度をできる限り低く押さえるため、下記のような運転方法を採用した。

- ①系統の設備を開放した場合は運転前に真空引きを十分に行う。
- ②水分の昇温インターロックを厳守する。
- ③常温精製運転を十分行い不純物濃度を規定値以下にする。
- ④昇温はステップ状を行い、不純物濃度が管理基準値以下(H₂、COとも5ppm以下)に下がった後次の昇温に移行する。
- ⑤不純物濃度積算値(Σ(H₂)(CO)、Σ(CO)²)を監視する。
- ⑥精製流量は原則として規定流量とする。
- ⑦M₁ループとM₂ループは運転圧力を同じにし、両ループとも常時精製運転を可能にする。
- ⑧運転中加熱器のヒータの地絡電圧を監視する。

No.21サイクル試験運転では、前サイクル運転と同様、H₂とCOの濃度を低く押さえるため次の運転管理条件を追加した。

- ①加熱器H₃₂の出口温度を300°C以上に昇温する場合は、100°C毎ステップ状に昇温し、H₂とCOの濃度が5ppm以下に低下しなければ次のステップに移行しない。
- ②M_P系の不純物除去能力を監視するため、ガスクロマトグラフのサンプリング点を運転直毎に1回(2時間)加熱器H₃₁入口からM_P系出口に切り替える。

No.23サイクル試験運転からガスクロマトグラフを新たに4台増設(加熱器H₁、H₂、H₃₁、M_P系出口専用)し、既設(M_P系入口専用)と併せて5台になったため、各所の不純物ガス濃度を同時にオンラインで測定及びデータ処理が可能になった。

No.23サイクル運転開始直後にM₂+A+T₂ループを常温流動で2日間精製運転(No.22サイクルと同様)した結果、ループのヘリウムガス濃度は既に零に近い濃度であった。このため、常温流動での精

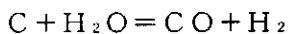
製運転は効果が小さいので次回の運転からは中止し、昇温直前に精製系と接続して、昇温時に多量に発生する不純物も含めて同時に精製し除去する運転方式に変更することにした。

M_1 系は、不純物除去能力の限界点を確認するため、可能な限り同一系統を使用することにした。しかし、No.1系統を12日間使用した段階で M_2+A+T_2 ループを600°C以上に昇温するのに対処するため、No.2系統に切り替えた。No.2系統は運転終了まで9日間使用したが、不純物除去能力の顯著な低下はなかった。

不純物ガスの生成のメカニズムを以下に示す。

①運転開始後 M_2+A+T_2 ループを常温から400°Cに昇温した段階では、水分濃度が非常に高くなるものの、カーボン析出の原因となる H_2 とCOの濃度は水分濃度に比べて著しく低い。従って、この水分は温度が低いために黒鉛と反応することなく、精製系によってほとんどが4~5日で完全に除去される。

②その後、 T_2 試験部（黒鉛約50トン、断熱材約4トン）を段階的（100°Cステップ）に950°Cまで昇温すると、昇温の直後に水分濃度は無視できるほど低いにも拘らず、 H_2 とCOの濃度は高く（ピーク時で60~300ppm）なる。そして20ppm程度又はそれ以上の高濃度が数日続く。これは、黒鉛中に400°C以上に昇温してもまだなお吸着されたままの水分がかなりの量残っており、この水分が黒鉛と、



の反応を生じて H_2 とCOが系統内に放出されたものと考えられる。

③水分濃度は、運転サイクルを重ねるにつれて減少する傾向があるが、 H_2 とCOの発生量は運転サイクルとともに減少することは一概に言えないことを経験した。この原因としては、各サイクル運転前にループの機器の開放により水分が黒鉛及び断熱材に容易に吸着され、その水分のうちかなりの量が400°C付近まで昇温しても吸着されたまま残っており、更に高い温度まで昇温すると黒鉛と反応するため、 H_2 とCOの形として放出されると考えられる。

不純物ガス生成の抑制措置を以下に示す。

①不純物濃度制限値を定め（昇温インターロックを含む）、それを守るとともに系統の昇温速度を緩やかにし、昇温とともに出てくる不純物の除去に努める。

②精製系は系統の昇温前に起動し、その後は常に系統と接続して精製運転に努める。

③各系統および精製系における不純物の発生状況や除去状況を迅速、正確に測定する。これには当初の計測装置（旧式ガスクロマトグラフ1台、酸素計2台）では不十分であり、精度良く各部の不純物濃度を把握できないため、自動ガスクロマトグラフ（計6台）と水分計（計12台）を追加し、オンライン不純物計測システムとして整備した。

④点検等で系統を開放すると空気中の水分が黒鉛や断熱材等に吸着されるので、開放期間は極力短縮する。また、開放期間中は、乾燥空気を流すなどの工夫をして、内部環境を良好に保持する。

⑤ M_1 ループ専用の精製装置を設置し、 M_1 ループ及び M_2+A ループに圧力差が有る場合でも常に両ループともヘリウムガスの精製が出来るようにした。

(3) 冷却水系の改善

冷却水系は定常運転時は勿論、事故時においても機器を除熱し、安全を確保する重要な系統であり、むしろ本体ループ以上に十分な品質管理の基で設計・製作する必要がある。HENDELの運転当初は、しばしば冷却水の減少により機器がトリップするトラブルが発生した。

この原因として、(a) 水質管理が適正でないために機器や管路の腐食が著しく、剥離した錆やスケールで配管やストレーナ等が詰まる、(b) HENDELは、運転と非運転の間の大幅な熱負荷の変動、断続運転、あるいは数日間の停止等水質管理上好ましくない運転特性がある、(c) 配管径、弁の選定等配管設計が不適当で、元々十分の水量が流れない、(d) 負荷の大小すなわち冷却水温度の高低によって冷却塔を通過させたりバイパスさせたりするため（自動制御で）ヘッドが変化し水量が変動する等があった。

このため以下の改善を行い効果を挙げた。

①水質管理は腐食防止の基本技術であり、設置当初の水張りの時から注意して管理を徹底する必要がある。すなわち、装置の設置後、構成機器の接液部の表面が活性なうちに適当な防錆材で防蝕皮膜を形成することである。これを怠り金属表面に錆が発生してから防蝕皮膜を形成しても効果は薄い。HENDELでは設置当初の水質管理を誤り、系統全体に錆が発生した。この結果、機器や管路の腐食が著しく、剥離した錆やスケールで配管やストレーナ等が詰まりトラブルの原因になった。

②水量が不足する管路については、配管のサイズアップや経路の変更、弁形式の変更（玉型弁をゲート弁）、化学洗浄等を行った。

③熱負荷の大小に関係無く、戻りの冷却水は常に冷却塔を通過させ、ヘッドを一定にして、弁の自動切替わりによって生ずる冷却水の圧力変動をなくした。

④加熱器電極冷却系統は、当初は水冷方式を採用した。この場合の冷却水管は、電気絶縁を確保するため、比較的長いゴムホースを使用したが、圧力損失が大きく、十分な冷却水量が得られなかつた。このため、冷却効果を高め、電気絶縁性を確保するため、冷却方式を油冷式に変更した。この方式は油ポンプと鋼の冷却管系からなる。

⑤ストレーナは清掃を容易にするため、着脱の簡単なものに変更した。

⑥水質管理の改善策として水処理剤の変更、運転時及び停止時に即した薬剤濃度管理の徹底、冷却水が長時間滞留するのを防止するため保守運転（3回／週）の実施等を行つた。薬剤の選定は、不適当な薬剤は障害の抑制剤としてではなく、促進剤として作用することにもなるため十分な検討が必要である。使用薬剤の主成分等を以下の表に示す。

薬品名	W-138	D S - 1 0 2	A G - 4 8 2
用 途	防食剤	分散剤	スライム防止剤
主 成 分	ポリリン酸塩 亜鉛塩	ホスホン酸塩 カルボン酸型 ポリマー	有機窒素硫黄系
性 状	粉 体	液 体	液 体
PH(1%溶液)	6.8	4.4	—
全PO ₄ (%)	70.0	2.93	0.1 未満
Z n (%)	2.55	0	0
C u (%)	0	0	0.053

⑦定期（1回／週）に水質分析を行い、PH、導電率、全硬度及び全リン酸濃度を測定し、それぞれの制限値範囲内を維持していることを管理した。水質管理体制限値を以下に示す。

項 目	加熱運転時の制限値	満水保管時の制限値
PH	6.5～8.6	6.5～8.6
導電率(μS/cm)	500 以下	500 以下
全硬度(ppm)	100 以下	100 以下
全PO ₄ (ppm)	20～40	120～200

(4) 加熱器電極部の改善

ヘリウムガスを所定の温度に加熱する高温、大容量の電気加熱器に電気絶縁低下、熱電対断線等による地絡トラブルを何度か経験した（特に加熱器H₃₂, T₂領域別ヒータ）。

このような経験から地絡防止上大切な注意及び改善内容を以下に示す。

①絶縁低下の原因となるカーボン析出を抑制するため、ヘリウムガス中の不純物濃度を極力低減

させる。

②絶縁材は、カーボンや金属粉等の侵入や堆積を防ぐ形状にするほか、例えそれらが多少あったとしても地絡に至らぬよう、縁面距離や大きさに十分余裕を持たせて製作する。

③加熱器の絶縁低下等の異常を的確に検知するため、加熱器の特性に合致した地絡検出器、不平衡電流検出器、中性点電位検出器等の検出器を設ける。そして異常や異変を検知した時はただちに開放点検等を実施して、早急に処置することが大切である。加熱器H₃₂については、黒鉛製ヒータ部材や断熱部材の一部溶融焼損以後、これら電気的検知回路の改善を図った。また、加熱器の設計では、電気的接続部の構造設計（接触抵抗、接触荷重、部材間の熱膨張差、熱サイクルに対する接触安定性、腐食対策等）が伝熱管の設計以上に大切である。

(5) ヘリウムガス循環機のトラブルシューティング

ヘリウムガス循環機に於いても種々のトラブルを経験した。HENDELで採用したヘリウムガス循環機（5台）の軸受は動圧ガスペアリング方式であり、回転体が浮上するため摩耗部分がなく、寿命は半永久的でメンテナンスフリーとのことであるが、現実は必ずしもそうではない。

ヘリウムガス循環機のこれまでの経験から得た不具合防止に関する知見や改善点を以下に示す。
①循環機本体ではローターの静的、動的バランス並びに組み付け時の軸受クリアランスの設定が大切である。そこで運転中の振動（軸受荷重、軸変位）を計測し、異常を予知するためのセンサーを一部の循環機に取り付けた。

②組み付け時のローターの芯出し構造が大切である。芯出し構造の改善では、芯ぶれによる損傷を防止するため案内板を取り付けた。

③循環機内から外部に引き出す動力ケーブルや計測ケーブル（熱電対、回転数）の中継端子構造が大切である。ここでの計測ケーブル接触不良の改善として、下部計装フランジを作り替え、中継コネクター（内側：ビス止め、外側：ハンダ付け）を内外共圧着端子のプラグイン方式に変更すると共に、太い動力ケーブルを接続する時に銅棒端子が変形するのを防止するため、これを編組線に変更した。

④HENDELの循環機回転数制御装置には電動発電機を使用したワードレオナード方式及びサイリスト方式の2種類あるが、ワードレオナード方式はサイリスト方式に比較して回転機器を必要とし、また、制御装置が大形化になる。その結果、ワードレオナード方式に電動発電機の振動過大、温度検出器故障、制御回路故障等のトラブルが多い。

(6) 往復動式圧縮機のトラブルシューティング

Mu系とMp系に設置されているヘリウムガス用往復動圧縮機に関してもHENDELの運転開始以来トラブルが頻繁に発生した。すなわち、オイル漏洩等オイルシール機構の不良、ヘリウム漏洩、冷却水量不足、安全弁吹き出し、オイルレベル検出器不良、モーター絶縁劣化、など種々のトラブルが発生した。これらには往復動圧縮機が持つ構造上の欠陥から起こるトラブルも少なくない。

主なものを以下に示す。

①高圧のヘリウム系統（シリンダー側）と低圧の回転駆動機構（クロスヘッド側）とを完全に気密に仕切るため、ピストンロッドの中間にオイル溜まり、オイルシール等で構成される複雑なシ

ール機構を設置せざるを得ない。従って、オイル漏洩、オイル侵入、オイルレベル検出器故障、オイルポンプ故障等のトラブルが起きた。これらのトラブルは、数度の改良及び改善を行い解決した。

②特にMu系の主圧縮機（B₄₁, B₄₂）は往復摺動するピストンリングの摩耗粉や油等が吐出側に排出し、弁やフィルターに付着するほか、逆止弁の締切り性能を悪化させ、膨張タンクに逆流して安全弁を吹かせる事態を引き起こした。この解決策として、ピストンとシリンダーとが無摺動運動を可能にする磁気ベアリングを応用した圧縮機を開発して、ヘリウムガス精製装置に設置した。性能試験の結果では、体積効率は従来型の同容量の往復動式圧縮機と比較しても遜色ない結果を得た。

(7) 計算機のトラブルシューティング

計算機制御による自動運転を導入した計測制御系は、今まで良好に機能してきた。しかし、ソフトウェア上ではバグ取りや運転操作をし易くするためのプログラムの手直しには長い時間を要した。現在では、運転制御上の問題は経年劣化による故障を除いてほとんどない。HENDELのような新技術を採用した高度なシステム構成では、少なくとも最初の数サイクルはソフトウェアやハードウェアのバグ取り運転とみなして対処する必要がある。

これまでの運転経験から得られた問題点や課題を以下に示す。

①計算機システムの伝送異常や停止あるいはCRT画面ロックが時々発生したが、計算機システム自体にブラックボックスの部分が多く、原因究明が出来ず、従って対策がとれない。これは高度な自動化システムがもたらす新たな技術課題である。完全な自動化のためには完璧な異常処理システムがセットとして用意されなければならない。

②熱電対の接触不良や計測回路のノイズ信号等、ワンショットの異常信号のために機器をその都度トリップさせるのは、機器に著しいサーマルショックを与えるので必ずしも安全サイドとは云えず、また、試験日程等にも影響する。このような信号に対しては、信号の回数を数える（例えば2 out of 3回路の採用）、あるいはタイマーの時間を計測してある基準値をオーバーしたらトリップさせる等のインターロックシステムを構築する必要がある。

③アナログレコーダーはプロセス値の履歴が一目瞭然に、かつ、迅速に機器や系統の運転状態を把握出来るので重要な計器である。CRT画面のみで対処するには、アナログレコーダーに十分対応できる遜色ないトレンド画面の充実（表示速度、サイズ、緻密さ、コピー性）が是非必要である。

④警報表示・処理機能は重要なので良く検討されているが、重故障が発生した場合のように一時に多量の警報が発生した場合、処理速度や通信速度の関係で警報や機器動作が発生順にコンソールタイプライターやCRT画面上に表示されないのは問題である。また、不要不急の警報は極力発生させない努力が必要である。

3. 4 機器の技術開発

3. 4. 1 ガス軸受方式大型ガス循環機特性試験

HENDELには、5台のヘリウムガス循環機が設置されている（詳細な仕様は第2章を参照のこと）。これらのガス循環機はいずれも同一寸法のティルティングパッド式動圧型ガス軸受を有し、軸受

1個の設計負荷能力は世界最大級で75kgfである。

HENDELの運転初期に於いてはこれらのガス循環機にトラブルが続き、工場修理を要するトラブルは4回生じている。特にB₁ガス循環機で生じたガス軸受部の焼付トラブルは重大であり、このトラブルを機に、これらのガス循環機の「ガス軸受の特性」及び「軸受・ローター系の振動特性」に注目し、修理、分解点検等の機会を利用し試験を重ねた。以下に、各試験の内容と、それによって得られた結果について述べる。

(1) ガス循環機B₂₁, B₂₂の分解点検時に行った試験

- (a) 内部ケーシング : 分解前の軸受隙間の測定
- (b) ローターのジャーナル部 : 材質検査、外径寸法測定、表面粗さ測定、動的釣り合い試験
- (c) ティルティングパッド : 材質検査、内径寸法測定、表面粗さ測定
- (d) バネ式ピボット : ピボット先端の材質検査、バネ定数測定
- (e) 空気中作動試験 : 工場組立後、HENDELにて試運転

結果

- 軸受隙間（セット隙間）の測定は非常に難しい。
- ジャーナルの外径160mmに対しパッド内径は160.160mmであった。従ってシュウ隙間（加工隙間）は $0.16/2=0.08\text{mm}=80\mu\text{m}$ となる。
- 空気中作動試験において振動センサーを取り付けて測定したところ。ホワールの前兆と見られる低周波振動が観察され、また、12000rpm（最高回転数）近辺では振動振幅が大きくなることが判明した（2台とも）。従ってこれらの不具合を解消するため軸受隙間の加減を繰り返してフィールドバランスを行った。以後、ループへ組み込んだ後も振動を監視できるよう振動センサーを循環機内部に設置した。この作動試験時に軸受負荷能力（軸受荷重）を測定するため、固定ピボットに替えてロードセルピボットを用いた。その結果、回転の増加に対応して軸受荷重が増加するような軸受隙間の設定が振動挙動の面から良好であることが判明した。すなわち組立時の隙間は20~30μmの範囲内にすることが望ましいことが確認された。

(2) ガス循環機B₁の修理時に行った試験

- (a) 軸受の焼付き部の修理のため工場にて分解、外観寸法検査
- (b) 軸受パッド内面 : 損傷部の修復が不可能なため、予備のパッドと交換した。ただし、予備のパッドの内径は、測定の結果160.16mmよりも小さくなってしまっており、摺合せにより径を大きくしようとしたが対象となるパッド材質がDUメタル（合成樹脂と銅系合金粉末のコンポジット）なので加工が不可能であり、解決策として、シュウ隙間（80μmを一定とする）を確保するため、ジャーナルの外径を160.00mmより小さくすることにした（パッド内径寸法-0.160mm=ジャーナル外径加工寸法）。
- (c) ジャーナル部 : 損傷部を削り取り、新規製作のジャーナルスリーブを焼きばめにて取り付けた。外径寸法は上記(b)で述べた通り。
- (d) 空気中作動試験 : 工場組立後、HENDELにて試運転

結果

○パッドの材質がDUメタルであるため設計通りの内径寸法（160.00mm）に加工することは難しい。○焼付きに至った原因として、次の(i)～(iv)の4通りの場合を想定した。(i)原因を調べるため軸受にロードセルピボットを取り付けて軸受荷重を測定したところ、B₁特有の圧縮方式（インペラーが渦流式）のためローター支持部のガス軸受に「循環機の昇圧分」がモーメントとして加えられ、パッド（3枚よりなる）の軸受隙間が30μm以上になるものと20μm以下になるものとに別れ、ホワールに至ったと考えらる。(ii)渦流式のインペラでは吸い込み側と吐出側との間にシール要素が設けられているが、この要素とインペラーチップとの隙間が小さすぎてアルフォードフォースによる振動が発生し軸受に損傷を与えた。(iii)組立時の軸受隙間が30μmを大幅に越えていた。(iv)軸受がゴミを噛み込んだ。

結論として、修復後のガス循環機を運転すると、フィールドバランスを慎重に、かつ、何回行っても7000rpm以上の回転数になると振動にホワールの前兆（低周波振動）が観察されることから、B₁特有の現象として上記(i) (ii)をトラブルの原因と想定した。

○焼付トラブルを通して明らかになったガス軸受（B₁ばかりでなくB₂₁～B₂₄のガス軸受を含む）の一般的な注意事項について整理する。

この軸受の運転中の形成ガス膜厚さは20～30μmであり、この膜厚を維持出来なくなると「焼付き」や「ホワール」等のトラブルを生ずる。すなわち、組立において軸受最小隙間を20μmを大幅に下回ってセットすれば、軸受パッド面とジャーナルの面の表面粗さ次第では金属接触を起こし、遂には焼付きに至る。また、隙間のセットが30μmを大幅に越えてなされるとホワール（低周波の不安定振れ廻り振動）を起こし、遂には焼付き等の損傷に至る。従って、ガス軸受を有するガス循環機は軸受部の加工のみならずその組立に於いても精密さが要求される。

(3) ガス軸受試験装置による特性試験

「ガス軸受の特性」、「軸受・ローター系の振動特性」等を調べるため、試験装置を製作し、以下に述べる実験を行った。

- (a) 軸受隙間と発生膜力の関係
- (b) 軸受隙間と発生振動の関係
- (c) 軸受にモーメントを負荷した場合の発生膜力と膜の安定性

結果

○ティルティングパッドを支持するピボット（固定ピボット2個、バネピボット1個）のうち1個をバネ付きピボットにし、軸受隙間を0μmとして運転した場合、起動トルクは大きくなるが、ガス膜は形成される。ただし、この場合、膜力は約4000rpm近辺から12000rpmまでの間はほぼ一定で、バネの設定荷重と等しくなる。

○軸受隙間が小さいほど発生膜力は大きくなり、膜力と回転数の関係はほぼ直線的である。

○軸受隙間を小さくセットすると振動の振幅が大きくなる。

○モーメントを軸受に負荷した場合、支点荷重約10kgf（膜力にこの荷重が加算される）では軸受及び振動の挙動に影響は見られなかった。10kgf以上の負荷は試験機の制約上実施出来なかった。

(4) B: 予備ガス循環機の製作

B: ガス循環機は7000rpm以上でホワールの兆しを示すことから新たに予備ガス循環機を製作した。製作にあたっては、今までの経験を基にして、以下に述べる改善をした。

- (a) 組立時の軸受隙間のセットを容易に出来るよう、従来のネジ式ピボットからフランジとシム板の組み合わせ方式のピボットに変えた。
- (b) パッド内面の加工の容易さを考慮し、従来のDUメタルの内張り方式を廃し、内面はセラミックコーティングとした。ジャーナル部も同様にセラミックコーティングとした。
- (c) アルフォードフォースによる振動を避けるため、インペラーチップとシール要素の隙間を若干大きめにした。

結果

この予備ガス循環機は運転初期にゴミの噛み込みによるトラブルが1回発生しただけで、現在に至るまで順調に稼働している。特に、振動特性は最高回転数の12000rpmまで良好である。

3. 4. 2 磁気軸受方式ガス循環機の開発

(1) ターボ式ガス循環機の開発

動圧型ガス軸受の負荷容量は軸受隙間が $20\sim30\mu\text{m}$ の場合、 $70\sim80\text{kgf}$ 程度である。 $20\mu\text{m}$ 以下にセットすれば負荷容量は増すであろうが、その場合、軸受面の表面粗さからして極めて厳しい運転を余儀なくされる。したがって、動圧型ガス軸受を採用したガス循環機はローターの重量に制限を受け（HENDELのガス循環機のローターは約160kg）、大型機の製作には別種の軸受方式を採用せざるを得ない。HTGR用ガス循環機としてガス軸受以外の軸受方式として、水軸受、油軸受が経験されている。これらは大型機用の軸受として使用されているが、シール方法が難しく、水軸受の場合、ガス側のシール部でトラブルを起こしている。磁気軸受は原子炉用としては未だ実績はないが、前述のガス、水、油の各軸受が流体潤滑により軸受機能を果たすのに対し、磁気軸受はローターと軸受は完全な非接触状態で運転され、磁気によってローターは支持される。以下に磁気軸受の特徴を示す。

- (a) 磁気軸受の隙間は流体潤滑の場合（ $\sim 0.1\text{mm}$ ）に比べて約 1mm 程度にすることが出来、ゴミの噛み込みトラブルの発生が少ない。
- (b) 高速回転を行っても、流体潤滑にみられる軸受部の粘性抵抗は考慮しなくともよい。したがって回転速度の限界は遠心応力とローターの使用材料（積層鉄板、インペラ材、軸材等）によって決まる。
- (c) 流体潤滑で見られるオイルホイップやホワールは起こらない。
- (d) 一次、二次の危険回転数はもちろん、三次の危険回転数（軸の1次曲げモード）においても制御によって減衰係数が自動的に調整され、問題なく通過することが出来る。場合によっては三次の危険回転数で長時間運転することも可能である。
- (e) 軸受の負荷容量は大きくできる。また運転中に軸受剛性を変えることもできる。
- (f) 磁気軸受は高速回転のローターを機械的にではなく電気磁気的に空間に保持するものであり、その技術の核心は電気磁気回路の信頼性及び制御技術にある。つまり、磁気喪失は軸受機能の喪失であり、この点が原子炉に使用されない最大の理由になっている。現在、緊急用として補

助軸受（ポールベアリング）を備えているが、信頼性については不明である。

上記 (f) に示した短所を克服すれば、磁気軸受はターボ式ガス循環機の軸受として理想的である。原子炉用として使用するには、この技術の内容及び信頼性を実際に認識しておく必要がある。このため、HENDELのガス循環機に組み可能な寸法の磁気軸受試験装置を製作した。この装置による試験の目的は次の通りである。

- (a) HTTR用ガス循環機を想定した部品の構成とし、製作された部品が原子炉用としての品質を有するか否かを調べる。
- (b) 組立、分解及び保守が容易であるか否かを調べる。
- (c) 高速回転で磁気喪失が生じた場合、補助軸受は正常にその機能を果たすことが出来るか否かを調べる。
- (d) 第三次の危険回転数の影響をどの程度除去できるかを調べる。
- (e) 負荷能力はどの程度のものかを調べる。
- (f) 長時間運転に耐えられるか否かを調べる。

以下にこの試験装置の概要を示す。

ローターの径、長さ及び重量 (150kgf) はB1ガス循環機とほぼ同じである。

最大回転数	: 12000 rpm
軸受の動作速度範囲	: 0~12000 rpm
自動バランスの動作する範囲	: 6000~12000 rpm
上部ラジアル軸受最大負荷（負荷容量）	: 約280kgf
下部ラジアル軸受最大負荷（負荷容量）	: 約180kgf
スラスト軸受最大負荷（負荷容量）	: 約300kgf
コイル絶縁階級	: F種
計算第三次危険回転数	: 276Hz

試験の結果は次の通りである。

- (a) 部品の品質は良好であり、原子炉用として可能である。
- (b) 組立はガス軸受方式よりも容易である。
- (c) 磁気喪失事故（タッチダウン）を模擬した実験をしたところ、羽根無し模擬インペラーの場合でも、12000 rpmから停止まで約42秒でランダウンすることが出来、その間において異常な振動は観察されなかった。
- (d) 振動の測定をしたところ、第三次危険回転数の影響は完全に除去され、0~12000 rpmまでのリサーチュは真円であった。
- (e) 静止状態でローターに外部から荷重を負荷したところ、スラスト軸受480kgf、上部ラジアル軸受372kgf、下部ラジアル軸受213kgfであった。ただし、これらの荷重はコイルの許容電流値で行ったものであり、許容電流値を大きくできる材料のコイルを用いれば、更に負荷能力を高くすることが出来る。

(f) 20000時間の連続運転をし、各部の点検を行った。その結果、異常は見られなかった。

本試験の結果から、磁気軸受はローターを軸受面からかなり離れた位置に保持することができ、流体潤滑軸受に特有のホワール、オイルホイップ等の流体励振力に基づく自励振動は回避できることがわかった。更に最近の制御技術の進歩により、能動的振動制御（振動のアクテブコントロールと言われている）の可能な磁気軸受（能動式磁気軸受と言う）が実用化しており、ローターに発生した振動を積極的に打ち消したり吸収したりすることができる。換言すれば少々バランスの悪いローター（ただし、計算により一次、二次、三次の危険回転数と不釣り合い力のおおよその把握が必要）でも不釣り合い力が動的負荷容量内に入っているれば支障無く回転させることができるもの。

この軸受の短所は高価であることと前述の磁気喪失事故である。今回の試験ではタッチダウン時に於いても補助軸受はその役目を果たしたが、原子炉に採用するには実績の積み重ねが必要となろう。

(2) レシプロ式ガス循環機の開発

一般に往復動式圧縮機は、ピストンとシリンダ間に潤滑油を使用して摺動部の焼け付き等防止しているが、ヘリウムガスループや食品工業及び薬品工業等に使用している往復動式圧縮機では、プロセスに油の浸入による悪影響を防ぐため潤滑油を使わない無給油方式の往復動式圧縮機が使用されている。

無給油式ピストンを用いた往復動式圧縮機のピストンとシリンダ間は、ピストンにラビリングを作り、シリンダ内面を高精度な平滑面にして双方を微少隙間に保って接触しない構造のラビリング式、ピストンリングにカーボンリングやテフロンリング等の自己潤滑性の高い材料を使用し、かつ、ピストンの摩耗量を低減するためにピストンの往復速度を遅くする等の対策が採用された。しかし、この結果、圧縮機は大型化し振動等の増加が避けられなかった。

本圧縮機は、このような従来型の往復動式圧縮機における不具合を解決するため、開発した堅型水冷単動一段無給油式往復動圧縮機である。圧縮機の構造は、ピストンとシリンダ間及びシリンダとクランクケースのグランド部をラビリング構造にして、往復運動するピストンを半径方向の位置センサー、演算增幅器及び電磁石を用いた能動式磁気軸受によって常にシリンダの中心に保持し、ピストンとシリンダー間双方を微少隙間に保ち、相互に接触することなく圧縮効果を高めることにより、同容量の従来の往復動式圧縮機と比較し小型化・軽量化及び長寿命化することを目的としたものである。

また、圧縮効率及び機械効率を上げるため、ピストンを熱膨張率の小さい、かつ、軽い材料で製作し、高速化を可能にした。

電動機はインバータ制御方式にして回転数可変（100rpm～2,000rpm）で従来型と比較して高速運転が可能である。

本圧縮機の当初のピストンとシリンダーの隙間は、125μmであった。この状態で運転した結果、ピストンの半径方向の片側の振幅が最大で20μmであったので、体積効率を向上させるため、ピストンとシリンダとの隙間を50μmに加工したピストンを製作し、旧ピストンと交換した。

この結果、旧ピストンを使用しての定格運転時（回転数1000rpm、差圧2.0kg/cm²、温度30°C、圧力40.0kg/cm²G）の体積効率は36%であったが、新ピストンでの定格運転における体積効率は61%となり、ピストンとシリンダーとの隙間を小さくすることにより漏れ量が減少して体積効率が大幅に向上し、従来形式の同容量の往復動式圧縮機の体積効率に近づけることが出来た。Fig. 3.4に体積効率の比較を示す。

以上のように、能動式磁気軸受を用いてピストンを精度良くシリンダーの中心に位置させ、ピストンとシリンダーとの間に極めて僅少な間隙を保持しているので、ピストンとシリンダーとの摩耗現象が回避でき機械効率の向上が出来る。このため、従来型のピストン式圧縮機に比較して、回転数の大幅な上昇と装置の小型化及び軽量化が可能になる。従って、ピストン等の機械的摩耗部分が減少するため、放射化したガスを取り扱う圧縮機として用いた場合機械のメンテナンスを殆ど必要としないので、作業員の被爆低減、また、圧縮機の密封型（キャンドル型）が可能となり放射性ガスの外部漏洩の防止もできる。更には、船内等の狭い据え付け環境での使用が可能である。

3. 4. 3 ヘリウム精製装置性能試験

(1) 概要

39サイクル並びに40サイクル運転において、ヘリウム精製装置の性能確認試験を実施した。試験は、酸化銅ベッド(SB)に着目し、COとH₂が酸化する温度には、しきい値があることを想定し、確認試験を行った。

(2) 試験方法

Fig. 3.5にヘリウム精製装置系統図を示す。ヘリウム精製装置を運転し、酸化銅の温度を20°Cから200°Cまでの間を段階的に変化させ、各温度における不純物の酸化率を求め、100%酸化する温度を調べた。不純物として、H₂とCOを使用した。

酸化銅ベッド入口から、COあるいはH₂を注入し、酸化銅ベッド入口で、CO, H₂, の濃度を測定し、出口で、CO, CO₂, H₂, H₂Oの濃度を測定した。

(3) 運転方法並びに試験条件

酸化銅ベッド(SB)、モレキュラーシーブベッド(MB)、コールドチャコールベッド(CB)の内容積、内径、有効高さは次の通りである。

	SB	MB	CB
内容積	0.02m ³	0.04m ³	0.017m ³
内 径	165.2 mm	216.3 mm	199.9 mm
高 さ	784 mm	834 mm	550 mm

運転においては精製装置と混合タンクMT₁を切り放し、精製装置のみの循環運転を行った（系統図のSA5501, SA5502をCLOSE、SA5503をOPEN）。一酸化炭素(CO)をHX551入り口から注入し、酸

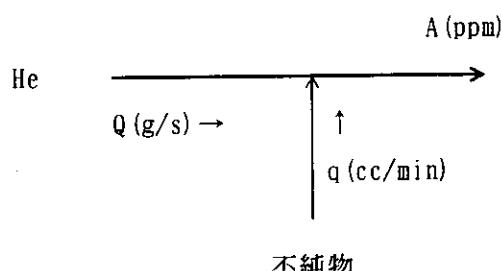
化銅ベッド入口で濃度をガスクロで測定し、注入濃度を確認した。ガスクロでの測定点は、他に HX552出口（酸化銅ベッド出口）、モレキュラーシーブベッド入口及び出口（コールドチャコールベッド入口）、系統出口（チャコールベッド出口）の4点である。

系統圧力、ヘリウム循環流量等の運転条件は、次のとおりである。

- (a) 系統圧力 : 約4MPa
- (b) 精製流量 (He) : 約10g/s
- (c) 不純物ガス種類、注入量 : 50ppm
- (d) 酸化銅ベッド中心温度 :
 - CO試験 : 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 105, 110, 120, 150°C
 - H₂試験 : 120, 160, 163, 165, 170°C

(4) 注入方法

(a) 注入量の計算



上図のように、系統に流れるHe流量をQ (g/s) 不純物の流量をq (l/s) のとき、混合ガスの不純物濃度をA (ppm) とするとppmは体積比で表されるのでHe流量を体積流量に換算する。

$$\text{He流量 } Q_v = (Q \times 22.4/4) \times 60 \times 10^3 = Q \times 3.36 \times 10^5 \text{ (cc/min)}$$

$$\text{不純物濃度 } A = \{q / (Q_v + q)\} \times 10^6 \text{ (ppm)}$$

従って不純物流量q (cc/min) は

$$\begin{aligned} q &= A Q_v / (10^6 - A) \\ &= A \times Q \times 3.36 \times 10^5 / (10^6 - A) \text{ (cc/min)} \end{aligned}$$

Heガス流量10g/sの時の不純物濃度を100ppmとすれば不純物流量qは

$$q = 100 \times 10 \times 3.36 \times 10^5 / (10^6 - 100) = 336.03 \text{ (cc/min)}$$

同様にHe流量が10g/sで不純物濃度を50ppmとすると、不純物流量qは

$$q = 50 \times 10 \times 3.36 \times 10^5 / (10^6 - 50) = 168.02 \text{ (cc/min)}$$

以上の計算結果を踏まえ、マスフローコントローラーを調整し、必要流量を流した。

(5) 試験結果

Table 3.2～Table 3.3及びFig. 3.6～Fig. 3.7に酸化銅ベッドの温度と酸化率の関係を示す。COについては、酸化銅ベッド中心温度が105°Cのときに酸化率が約95%，110°Cでは100%であった。また、H₂については、163°C以上のときに酸化率が100%であった。

酸化銅ベッドについては、一般に200°C～300°Cで使用することが、最も効率が良いとされ、メ

一カ一の推奨値であった。しかし、実験の結果、COについては110°Cで、また、H₂については、163°Cで100%酸化することが判明した。この結果から、今後の運転では、170°Cで精製運転しても差し支えないことが分かった。このことは、酸化銅ベッドの寿命、ヒーターの容量、使用電力量上有利と考えられる。

酸化銅ベッドにおけるCOの酸化する下限温度は、Fig. 3. 6に示すように、明確な値は見いだせなかった。20°CでのCOの酸化率は1.2%であり、室温付近でも酸化が確認されている。なお、H₂の低温での試験は今後の課題と思われる。

CO注入開始から、ガスクロで検出されるまで約3時間かかった。主な原因は、精製装置のサンプリング点からガスクロまでの配管が長いこと、ガスクロのデータ解析時間が長いことである。また、配管で一定の濃度のCOを注入しても、各ベッドや、熱交換器等、内容積の大きい機器が途中有ると、サンプリング点までCOが到着するのに時間がかかることも、検出遅れの原因となった。

4. 保守管理

4. 1 機械装置の保守作業

HENDELには、圧力容器、圧縮機、ポンプ、弁等の機械装置が多数設置されている。これらの装置は安全と機能の維持を図るため、法規制に義務づけられた定期的な点検・検査及び自動的な分解検査等の保守作業がなされてきた。HENDELの運転開始からNo.40サイクル運転までの機械装置に関する保守作業の内容をTable 4. 1に示す。

4. 2 電気、計測制御系の保守作業

電気、計測制御系及びデータ処理システムはHENDELの神経中枢系であり、その機能が完全でないと運転に支障を生じるばかりでなく、安全性にも問題がでてくる。HENDEL建設以来No.40サイクル運転に至るまでこれらのシステムについて行ってきた保守作業の内容をTable 4. 2に示す。

一カーの推奨値であった。しかし、実験の結果、COについては110°Cで、また、H₂については、163°Cで100%酸化することが判明した。この結果から、今後の運転では、170°Cで精製運転しても差し支えないことが分かった。このことは、酸化銅ベッドの寿命、ヒーターの容量、使用電力量上有利と考えられる。

酸化銅ベッドにおけるCOの酸化する下限温度は、Fig. 3. 6に示すように、明確な値は見いだせなかった。20°CでのCOの酸化率は1.2%であり、室温付近でも酸化が確認されている。なお、H₂の低温での試験は今後の課題と思われる。

CO注入開始から、ガスクロで検出されるまで約3時間かかった。主な原因は、精製装置のサンプリング点からガスクロまでの配管が長いこと、ガスクロのデータ解析時間が長いことである。また、配管で一定の濃度のCOを注入しても、各ベッドや、熱交換器等、内容積の大きい機器が途中にあると、サンプリング点までCOが到着するのに時間がかかることも、検出遅れの原因となった。

4. 保守管理

4. 1 機械装置の保守作業

HENDELには、圧力容器、圧縮機、ポンプ、弁等の機械装置が多数設置されている。これらの装置は安全と機能の維持を図るため、法規制に義務づけられた定期的な点検・検査及び自動的な分解検査等の保守作業がなされてきた。HENDELの運転開始からNo.40サイクル運転までの機械装置に関する保守作業の内容をTable 4. 1に示す。

4. 2 電気、計測制御系の保守作業

電気、計測制御系及びデータ処理システムはHENDELの神経中枢系であり、その機能が完全でないと運転に支障を生じるばかりでなく、安全性にも問題がでてくる。HENDEL建設以来No.40サイクル運転に至るまでこれらのシステムについて行ってきた保守作業の内容をTable 4. 2に示す。

謝　　辞

本報告書をまとめるにあたり貴重な御助言を頂いた核熱利用研究部長宮本喜晟氏、また、HENDELの運転にあたり、多大な御支援を賜った歴代の高温工学部長青地哲男、岡本芳三、佐野川好母、安野武彦、若山直昭の諸氏に深く感謝の意を表します。さらに、HENDELの初期運転に携わった高温工学試験研究炉開発部長田中利幸氏、長期間にわたりHENDELの運転管理に尽力された同部の下村寛昭氏、林晴義氏、川路吉氏、研究炉部の星良雄氏、国玉武彦氏、NUCEF試験室の井沢直樹氏、ホット試験室の助川友英氏、核熱利用研究部の菱田誠氏、保安管理室の根小屋真一氏ほか元HENDEL管理室室員及びHENDELの運転、保守に御協力を頂いた原子力エンジニアリング（株）の諸氏に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 下村寛昭、田中利幸、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) の概要と建設 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 5, pp. 239 (1984)
- 2) 田中利幸、下村寛昭、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) マザー第1ループ (M_1) の特性試験 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 4, pp. 318 (1984)
- 3) 田中利幸、下村寛昭、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) マザー第2ループ (M_2) 及びアダプターループ (A) の特性試験 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 5, pp. 410 (1984)
- 4) 高瀬和之、丸山創、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) ・マザー第1ヘリウムガスループ (M_1) の性能特性 JAERI-M 85-072 (1985)
- 5) 宮本喜晟、日野竜太郎、稻垣嘉之、他 大型構造機器実証試験ループの試験部による高温ガス炉燃料体・炉内構造物の実証試験 JAERI 1333 (1995)

謝　　否辛

本報告書をまとめるにあたり貴重な御助言を頂いた核熱利用研究部長宮本喜晟氏、また、HENDELの運転にあたり、多大な御支援を賜った歴代の高温工学部長青地哲男、岡本芳三、佐野川好母、安野武彦、若山直昭の諸氏に深く感謝の意を表します。さらに、HENDELの初期運転に携わった高温工学試験研究炉開発部長田中利幸氏、長期間にわたりHENDELの運転管理に尽力された同部の下村寛昭氏、林晴義氏、川路詰氏、研究炉部の星良雄氏、国玉武彦氏、NUCEF試験室の井沢直樹氏、ホット試験室の助川友英氏、核熱利用研究部の菱田誠氏、保安管理室の根小屋真一氏ほか元HENDEL管理室室員及びHENDELの運転、保守に御協力を頂いた原子力エンジニアリング（株）の諸氏に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 下村寛昭、田中利幸、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) の概要と建設 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 5, pp. 239 (1984)
- 2) 田中利幸、下村寛昭、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) マザー第1ループ (M_1) の特性試験 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 4, pp. 318 (1984)
- 3) 田中利幸、下村寛昭、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) マザー第2ループ (M_2) 及びアダプターループ (A) の特性試験 日本原子力学会誌 Vol. 26, No. 5, pp. 410 (1984)
- 4) 高瀬和之、丸山創、他 大型構造機器実証試験装置 (HENDEL) ・マザー第1ヘリウムガスループ (M_1) の性能特性 JAERI-M 85-072 (1985)
- 5) 宮本喜晟、日野竜太郎、稻垣嘉之、他 大型構造機器実証試験ループの試験部による高温ガス炉燃料体・炉内構造物の実証試験 JAERI 1333 (1995)

Appendix 1 Operating and integrated time of the HENDEL (1/3)

運転 サイクルNo.	運転期間	運転時間(hr)			積算時間(hr)		
		M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL	M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL
M+A 検 収運転	1982.2.24～ 1982.3.29	356	956	956	—	—	—
1	1982.6.21～ 1982.7.10	459	299	459	459	299	459
2	1982.9.20～ 1982.10.26	0	855	855	459	1,154	1,314
3	1983.2.10～ 1983.3.4 追加試験 3.14～3.18 (T ₁ 検収運転)	610	288	624	1,069	1,442	1,938
4	1983.5.18～ 1983.5.31	265	264	312	1,334	1,706	2,250
5	1983.6.20～ 1983.7.18	630	339	672	1,964	2,045	2,922
6	1983.12.5～ 1983.12.20	264	116	360	2,228	2,161	3,282
7	1984.3.7～ 1984.3.27	387	142	480	2,615	2,303	3,762
8	1984.5.23～ 1984.6.5	0	245	245	2,615	2,548	4,007
9	1984.6.27～ 1984.7.17	9	408	408	2,624	2,956	4,415
10	1984.10.17～ 1984.11.14	386	528	672	3,010	3,484	5,087
11	1985.3.6～ 1985.3.26	269	352	379	3,279	3,836	5,466
12	1985.7.22～ 1985.8.1	213	156	213	3,492	3,992	5,679
13	1985.10.9～ 1985.10.30	500	1	500	3,992	3,993	6,179
14	1985.11.20～ 1985.12.4	340	0	340	4,332	3,993	6,519
15	1986.2.26～ 1986.3.12 追加試験 3.25～3.28	627	0	627	4,959	3,993	7,146

Appendix 1 Operating and integrated time of the HENDEL (2/3)

運転 サイクルNo.	運転期間	運転時間(hr)			積算時間(hr)		
		M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL	M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL
1 6	4.16~4.25 (T ₂ 乾燥運転) 1986.5.8~ 1986.6.6 (T ₂ 検収運転)	943	808	1,103	5,902	4,801	8,249
1 7	1986.6.18~ 1986.7.9	451	307	499	6,353	5,108	8,748
1 8	1986.10.22~ 1986.11.18	594	552	621	6,947	5,660	9,369
1 9	1987.2.4~ 1987.2.24	312	441	448	7,259	6,101	9,817
2 0	1987.5.13~ 1987.6.9	502	386	547	7,761	6,487	10,364
2 1	1987.6.24~ 1987.7.21	599	209	598	8,360	6,696	10,962
2 2	1987.10.21~ 1987.11.17	526	511	570	8,886	7,207	11,532
2 3	1988.2.10~ 1988.3.1	395	354	396	9,281	7,561	11,928
2 4	1988.5.18~ 1988.6.14	530	501	533	9,811	8,062	12,461
2 5	1988.7.6~ 1988.7.26	409	433	435	10,220	8,495	12,896
2 6	1988.10.19~ 1988.11.15	624	625	627	10,844	9,120	13,523
2 7	1989.2.1~ 1989.2.23	479	446	489	11,323	9,566	14,012
2 8	1989.5.17~ 1989.6.13	617	599	620	11,940	10,165	14,632
2 9	1989.7.5~ 1989.7.25	446	270	460	12,386	10,435	15,092
3 0	1989.10.1~ 1989.11.14	581	621	626	12,967	11,056	15,718
3 1	1990.1.31~ 1990.2.27	596	602	615	13,563	11,658	16,333
3 2	1990.5.16~ 1990.6.12	613	623	627	14,176	12,281	16,960
3 3	1990.7.4~ 1990.7.24	441	393	478	14,617	12,674	17,438

Appendix 1 Operating and integrated time of the HENDEL (3/3)

運転 サイクルNo.	運転期間	運転時間(hr)			積算時間(hr)		
		M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL	M ₁ +T ₁	M ₂ +A+T ₂	HENDEL
3 4	1990. 10. 17～ 1990. 11. 9	512	527	530	15, 129	13, 201	17, 968
3 5	1991. 1. 23～ 1991. 2. 19	595	518	614	15, 724	13, 719	18, 582
3 6	1991. 5. 15～ 1991. 6. 11	596	486	606	16, 320	14, 205	19, 188
3 7	1991. 7. 3～ 1991. 7. 23	452	337	463	16, 772	14, 542	19, 651
3 8	1991. 10. 23～ 1991. 11. 19	553	457	592	17, 325	14, 999	20, 243
3 9	1992. 1. 29～ 1992. 2. 25	602	498	623	17, 927	15, 497	20, 866
H 4-1 部分試 験運転	1992. 6. 24～ 1992. 7. 21 (精製装置単独試験運転)	0	0	0	17, 927	15, 497	20, 866
4 0	1992. 10. 19～ 1992. 11. 20	718	604	746	18, 645	16, 101	21, 612
H 4-2 部分試 験運転	1993. 1. 25～ 1993. 2. 17	532	0	532	19, 177	16, 101	22, 144
H 5-1 保全 運転	1993. 6. 23～ 1993. 7. 6	120	147	268	19, 297	16, 248	22, 412
H 5-2 保全 運転	1993. 9. 16～ 1993. 9. 28	104	240	271	19, 401	16, 488	22, 683
H 5-3 保全 運転	1994. 2. 21～ 1994. 2. 25	7	8	14	19, 408	16, 496	22, 697
H 6-1 動作 試験	1994. 6. 20～ 1994. 6. 24	14	7	22	19, 422	16, 503	22, 719
H 6-2 動作 試験	1994. 11. 14～ 1994. 11. 21	0	67	67	19, 422	16, 570	22, 786
H 6-3 動作 試験	1995. 2. 20～ 1995. 2. 24	0	97	97	19, 422	16, 667	22, 883

Appendix 2 Consumption of helium gas for operation of the HENDEL (1/2)

運転 サイクル	運転期間	運転前のヘリウムガス保有量(Nm³)	運転後のヘリウムガス保有量(Nm³)	消費量 (Nm³)		漏洩量 (Nm³)	漏洩量率 (%/day)	備考
				サンプリング放出量	M _r 再生時放出量			
No.20	1987.5.13 ～1987.6.9 (28日間)	9.765	8.558	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	20 180	1.207	1.007	0.368 サンプリングにはが入り1台、O ₂ 計2台使用中
No.21	1987.6.24 ～1987.7.21 (28日間)	9.798	7.751	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 M ₂ +A+T ₂ 放出量	20 125 200	2.047	1.702	0.620 F _{21, 22} ランジリーカ H ₂ 地絡修理のため M ₂ +A+T ₂ 系のHe放出
No.22	1987.10.21 ～1987.11.17 (28日間)	8.974	8.608	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	20 125	3.66	2.21	0.088
No.23	1988.2.10 ～1988.3.1 (21日間)	8.085	7.053	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	405 50	1.032	5.77	0.34 ガスロバ台増設(計5台) (既設、H1、H2、H31、MP出口) B ₁₂ 吐出弁ランジリーカ
No.24	1988.5.18 ～1988.6.14 (28日間)	9.003	8.309	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	540 75	6.94	7.9	0.031
No.25	1988.7.6 ～1988.7.26 (21日間)	9.752	8.040	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	405 75	1.712	1.232	0.602 膨張タンク安全弁吹出 L B ₁₂ 圧力センサーリーカ
No.26	1988.10.19 ～1988.11.15 (28日間)	10.506	8.065	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 膨張タンク放出量 2PTH206ドレンボラ ゲーからのリーグ量	826 90 113 10	2.314	1.275	0.433 膨張タンク圧力高
No.27	1989.2.1 ～1989.2.23 (II. 2. 24大震の令で休日の為24日で運転終了) (23日間)	10.444	7.880	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	670 90	2.564	1.804	0.751 F _{21, 22} , B _{23, 24} ランジリーカ(リーグ量11.7Nm ³ /hr) B ₁₂ 吐出弁ランジリーカ
No.28	1989.5.17 ～1989.6.13 (28日間)	15.556	9.048	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	205 120	6.508	6.183	1.420 F _{21, 22} , B _{23, 24} ランジリーカ(リーグ量18.0 Nm ³ /hr) 精製装置運転開始 ガスロバ台増設(精製 装置専用)、水分計12 台増設…1989年3月
No.29	1989.7.5 ～1989.7.25 (21日間)	11.094	7.889	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量	157 91	3.205	2.957	1.269 B _{21, 22} , SM205, 2SM 202ランジリーカ(リーグ量 115Nm ³ /hr) 膨張タンク圧力高
No.30	1989.10.18 ～1989.11.14 (28日間)	11.489	10.854	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 mp再生時放出量 膨張タンク放出量	229 121 104 200	6.35	1.09	0.034 O ₂ 計2台使用止める 膨張タンク安全弁吹出
No.31	1990.1.31 ～1990.2.27 (28日間)	10.548	9.795	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 mp再生時放出量	224 121 123	7.53	2.85	0.096 ガスロバ台増設(MP入 口専用、旧ガスロバは予 備機とする)
No.32	1990.5.16 ～1990.6.12 (28日間)	11.613	9.556	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 mp再生時放出量	240 91 61.5	2.057	1.664	0.512 旧ガスロバを精製装置 入口専用として使用 F _{21, 22} , B _{23, 24} ランジ リーカ(リーグ量17Nm ³ /hr)
No.33	1990.7.4 ～1990.7.24 (21日間)	11.064	10.658	サンプリング放出量 M _r 再生時放出量 mp再生時放出量	180 60 62	4.06	1.04	0.045 保安検査事前検査で T2N3/ブル(電極ノズル) 2箇所(B, F)からリーガ してたのを確認した。

Appendix 2 Consumption of helium gas for operation of the HENDEL (2/2)

運転 サイクル	運転期間	運転前のヘリウムガス保有量(Nm³)	運転後のヘリウムガス保有量(Nm³)	消費量		漏洩量 (Nm³)	漏洩量率 (%/day)	備考
				(Nm³)				
No.34	1990.10.17 ～1990.11.9 (11.12即位の令で休日の為11.9で運転終了) (24日間)	10.547	10.141	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	209 9.0 62	406	4.8	0.019
No.35	1991.1.23 ～1991.2.19 (28日間)	9.817	8.651	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	232 60 123	1,166	7.51	0.273 B21,23,24ランジリック (リ-ク量7.73Nm³/hr)
No.36	1991.5.15 ～1991.6.11 (28日間)	10.916	10.247	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	232 60 246	669	1.31	0.043
No.37	1991.7.3 ～1991.7.23 (21日間)	10.255	9.829	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	172 30 185	426	3.9	0.018
No.38	1991.10.23 ～1991.11.19 (27日間)	9.610	8.933	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	210 30 185	677	2.52	0.097 M2+A+T2H-7は10月 24日まで真空引きを 実施した。
No.39	1992.1.29 ～1992.2.25 (28日間)	9.798	9.124	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	226 60 308	594	8.0	0.030 今サイクルよりMP系入口 電解水分計は故障の ため停止中
H4-1部分 試験運転	1992.6.24 ～1992.7.21	精製装置単独試験運転のためヘリウムガスの消費量は測定しない。						
No.40	1992.10.19 ～1992.11.20 (33日間)	9.554	8.840	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	245 30 369	644	7.0	0.022 H4年3月にガス精製裝置入口専用の仮設が 入りを撤去した。
H4-2部分 試験運転	1993.1.25 ～1993.2.17 (24日間)	8.776	8.578	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	54 停止中 123	198	2.1	0.010 M1+T1+MP部分運転 ガス入口:HIとMP使用 H ₂ O計:HI, MU, MP使用
H5-1 保全運転	1993.6.23 ～1993.7.6 (14日間)	10.126	9.922	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	101 41 41	204	2.1	0.015
H5-2 保全運転	1993.9.16 ～1993.9.28 (13日間)	9.002	8.823	サンプリング放出量 M ₁ 再生時放出量 mp再生時放出量	93 40 41	179	5	0.004

* HENDEL 設計漏洩量率 = 0.1 % / day

$$* \text{漏洩量率} (\%) = \frac{\text{漏洩量} (\text{Nm}^3)}{\text{運転日数} (\text{day}) \times \text{運転前のヘリウムガス保有量} (\text{Nm}^3)} \times 100$$

* 漏洩量率 (%/day) は小数点以下4桁目を4捨5入

Table 1.1 Major specification of the HENDEL

Storage capacity of helium gas	10,000m ³
Electric power required	16MW (max)
Circulation rate of cooling water	950t/h (max)
Helium gas circulator	Centrifugal gas bearing type
Rotational speed/capacity	12,000rpm (max) / 4kg/s (max)
Helium gas heater	Electrically heated pipe heater
Maximum gas temperature	1,000°C
Material	Incoloy 800H and graphite
Helium gas cooler	Pressurized cooling water type
Cooling capacity	6.7MW/unit (max)
Hot gas duct	
Liner tube	Hastelloy X
Pressure tube	SB-42 (Carbon steel)
Insulation	Kaowool (Ceramic wool)
Purification system	Copper oxide, molecular sieve, and cold charcoal beds
Instrumentation and control system	Hierarchy, distributed digital control

Table 2.1 Specification of helium gas heater(H₁)

加熱器	本體	形 数 量	式 直 接 通 電 パイ プ ヒ ー タ ,	外部保温方式
		1 基		
		流 体 量	ヘリウムガス	
		流 压 力	0.4 kg/s	
		温 度	41 kg/cm ² G	
		設 計 压 力	323 °C/400 °C (入口/出口)	
		設 計 温 度	45 kg/cm ² G	
		材 質	500 °C (圧力容器)	
		外 形 寸 法	SCMV2	
		制 御 方 式	約1280 ^{OD} ×40 ^t ×6300 ^L mm	
			出口温度検出入力制御形	
		エ レ メ ン ト	材 質 外 径 内 径 全 長 有効発熱部長さ エレメント本数	インコロイ800H 27.2 mm 20.2 mm 2839 mm/本 2048 mm/本 15 本
		加 熱 器 入 力 制 御 裝 置	形 数 量 定 格 入 力 定 格 出 力 電 流 定 格 容 量 自 動 制 御 範 囲 電 压 設 定 精 度 過 負 荷 耐 量 設 定 方 式 周 囲 温 度	3相サイリスタ制御方式 1式 3Φ, 6.3kV, 50Hz 1283A 250 kVA 10~100% (連続) ±2%以内 (100%) 120% (30分) 現場手動及び遠隔設定 -10 ~ 40°C

Table 2.2 Specification of helium gas cooler(C₁)

管外	流 体 流路断面積 平均流速	ヘリウムガス $1.316 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ $3.040 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$
管内	流 体 流路断面積 平均流速 圧力損失	水 $3.398 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{本}$ $8.829 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$ 0.0492 kg/cm^2
伝熱管及び管束	伝熱管外径 伝熱管内径 伝熱管肉厚 伝熱管本数 実挿入伝熱管長 有効伝熱管 バッフル間距離 バッフルの枚数 伝熱管ピッチ	27.2 mm 20.8 mm 3.2 mm 7 本 4200 mm 2040 mm 150 mm 7 枚 40 mm (流れに直角) 40 mm (流れの方向)
伝熱特性	伝熱量 管外熱伝熱 伝熱管熱伝導率 管内熱伝導 熱貫流率 対数平均温度差 理論伝熱面 実質伝熱面	170 kW $708 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ $46 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ $4133 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ $427 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ 311 °C 1.11 m^2 1.22 m^2
容器	胴 内 径 冷却器高さ 材 质	約130 mm 約2300 mm STPA22

Table 2.3 Specification of helium gas circulator(B₁)

本 環 機	循 数 流 流	形 量 体 量	式 1 基 ヘリウムガス 0.4 kg/s
	入 口	压 力	40 kg/cm ² G
	出 口	压 力	42 kg/cm ² G
	入 口	温 度	400 °C (MAX)
	设 计	压 力	45 kg/cm ² G
	设 计	温 度	450 °C
体 電 動 機	回 转 数 制 御	数 量 範 囲	3000 ~ 10000 rpm
	形 式 定 格	形 式 格	3φ 400V 2p 加'形 130kW
	材 質	ケ ー シ ン グ 軸 イ ン ペ ラ	ステンレス鋼 低合金鋼 低合金鋼15CDV6
回 轉 数 制 御 裝 置	形 数 定 格 容 量	式 量	可变電圧可変周波数方式 1 式
	周 波 数 可 變 範 囲	定 容 量	210 kVA
	周 波 数 設 定 精 度	周 波 数 可 變 範 囲	50~220 Hz (連続)
	過 負 荷 耐 量	設 定 精 度	±1%以内 (30°C ±10°C)
	冷 却 方 式	過 負 荷 耐 量	150% (60秒), 200% (30秒)
	周 圍 溫 度	冷 却 方 式	強制風冷方式
		周 圍 溫 度	-10 ~ 40°C

Table 2.4 Specification of helium gas heater(H₂)

本 体	形 数 量	式 量 直 接 通 電 パイ プ ヒ ー タ ,	外 部 保 温 方 式
	流 量	1 基	
	流 量	ヘリウムガス	
	压 力	4 kg/s	
	温 度	40 kg/cm ² G	
	设 计 压 力	304 °C/400 °C (入口/出口)	
	设 计 温 度	45 kg/cm ² G	
	材 质	500 °C (压力容器)	
	外 形 寸 法	圧力容器 SCMV2	
加 热 器 入 力 制 御 装 置	エ レ メン ト 寸 法	エレメント インコロイ800H	
	工 程 寸 法	約1600 ^{OD} ×55 ^L ×7700 ^L mm	
	制 御 方 式	38.1 ^{OD} ×2 ^L ×3000 ^L mm	
		出口温度検出入力制御形	
加 热 器 入 力 制 御 装 置	形 式	3相交流電圧制御方式	
	数 量	1式	
	定 格 入 力	3φ 6.3kV, 50Hz	
	定 格 出 力 電 流	3150 A	
	定 格 容 量	3000 kVA	
	自 動 制 御 範 囲	10~100% (連続)	
	電 圧 設 定 精 度	±3%以内 (100%)	
	過 負 荷 耐 量	120% (30分)	
	設 定 方 式	現場手動及び遠隔設定	
	周 囲 温 度	-10 ~ 40°C	

Table 2.5 Specification of helium gas heater(H₃₁)

本 体	形 式	直接通電パイプヒータ、外部水冷方式
	数 量	1 基
	流 体	ヘリウムガス
	流 量	2.8 kg/s (最大 4kg/s)
	压 力	40 kg/cm ² G
	温 度	2.8 kg/s時:397/720 °C (入口/出口)
	設 計 壓 力	45 kg/cm ² G
	設 計 温 度	350 °C (圧力容器)
	材 質	圧力容器 SB49 エレメント インコロイ800H
	外 形 尺 法	約2730 ^{OD} ×60 ^t ×11108 ^L mm
加 熱 器 入 力 制 御 裝 置	エレメント寸法	54 ^{OD} ×6.5 ^t ×5040 ^L mm 42本
	制 御 方 式	出口温度検出入力制御形
	形 式	3相交流電圧制御方式
	数 量	1式
	定 格 入 力	3φ, 6.3kV, 50Hz
	定 格 出 力 電 流	5085 A
	定 格 容 量	7500 kVA
	自 動 制 御 範 囲	10~100% (連続)
	電 圧 設 定 精 度	±2%以内 (100%負荷時)
	過 負 荷 耐 量	120% (30分)
	設 定 方 式	現場手動及び遠隔設定
	周 围 温 度	-10 ~ 40°C

Table 2.6 Specification of helium gas heater (H_{32})

本体	形 式	直接通電パイプヒータ、外部水冷方式
	数 量	1 基
	流 体	ヘリウムガス
	流 量	2.8 kg/s (最大 4kg/s)
	压 力	40 kg/cm ² G
	温 度	2.8 kg/s時: 700/1000 °C (入口/出口)
	設 計 压 力	45 kg/cm ² G
	設 計 温 度	300 °C (圧力容器)
	材 质	圧力容器 SB46 エレメント 黒鉛
	外 形 尺 法	約1684 ^{OD} ×42 ^t ×9074 ^L mm
加熱器入力制御装置	エレメント寸法	70 ^{OD} ×15 ^t ×3850 ^L mm 36本
	制 御 方 式	出口温度検出入力制御形
	形 式	3相交流電圧制御方式
	数 量	1式
	定 格 入 力	3φ, 6.3kV, 50Hz

Table 2.7 Specification of helium gas cooler(C₂)

形 式	シェルアンドチューブ形（切欠きバッフル板付）
数 量	1 基
流 体	胴側：ヘリウムガス、 管側：冷却水
流 量	胴側（ヘリウムガス） : 4.0kg/s 管側（冷却水） : 28 kg/s
压 力	胴側（ヘリウムガス） : 40kg/cm ² G 管側（冷却水） : 3 kg/cm ² G
温 度	ヘリウム側（入口/出口） : 400℃/288℃ 冷却水側（入口/出口） : 32℃ /52℃
伝 热 量	2.3MW
設 計 压 力	ヘリウム側 : 45kg/cm ² G 冷却水側 : 5kg/cm ² G
設 計 温 度	ヘリウム側 : 450℃ 冷却水側 : 350℃
材 质	伝熱管 : STBA22 胴（ヘリウム側） : SCMV2 胴（冷却水側） : SB46
外 形 尺 法	約970 ^{OD} ×35 ^I ×3900 ^L mm
伝 热 管 尺 法	25.4 ^{OD} ×3.5 ^I ×2070 ^L mm (U字管)
伝 热 管 本 数	66本

Table 2.8 Specification of helium gas cooler (C₃₁)

形 数 量	式 1 基
流 体 量	胴側 : ヘリウムガス, 管側 : 加圧冷却水
流 量	胴側 : 4.0 kg/s (最大) 管側 : 28 kg/s
圧 力	胴側 : 40 kg/cm ² G 管側 : 37 kg/cm ² G
温 度	胴側 : 4.0 kg/s 時: 873/550°C (入口/出口) 管側 : 4.0 kg/s 時: 32/52°C (入口/出口)
伝 熱 量	6.7 MW
設 計 圧 力	45 kg/cm ² G
設 計 温 度	胴側 : 350°C (圧力容器)
材 質	伝熱管 : STBA22 圧力容器 : SCMV2
外 形 寸 法	約 2000 ^{OD} × 50 ^t × 9000 ^L mm
伝 熱 管 寸 法	27.2 ^{OD} × 2.6 ^t × 3600 ^L mm
伝 熱 管 本 数	54 本

Table 2.9 Specification of helium gas cooler(C₃₂)

形 式	シェルアンドチューブ切欠きバッフル形
数 量	1 基
流 体	胴側 : ヘリウムガス, 管側 : 加圧冷却水
流 量	胴側 : 4.0 kg/s (最大) 管側 : 41.5 kg/s
圧 力	胴側 : 40 kg/cm ² G 管側 : 3 kg/cm ² G
温 度	胴側 : 4.0kg/s時:550/383°C (入口/出口) 管側 : 4.0kg/s時:32/52°C (入口/出口)
伝 热 量	3.5 MW
設 計 圧 力	45 kg/cm ² G
設 計 温 度	胴側 : 350°C (圧力容器)
材 质	伝熱管 : STB35S 圧力容器 : SB49
外 形 尺 法	約900 ^{OD} ×30 ^I ×6300 ^L mm
伝 热 管 尺 法	48.6 ^{OD} ×3.5 ^I ×1910 ^L mm
伝 热 管 本 数	32本

Table 2.10 Specification of helium gas circulator(B₂₁, B₂₂, B₂₃, B₂₄)

本 環 機	循 環 數	形 式 量	豎型完全密閉動圧ガス軸受形 3 基
	流 量	体 積	ヘリウムガス
	入 口 升 昇	量 压 度	4 kg/s
	入 口 設 計	压 力	40 kg/cm ² G
	入 口 設 計	温 度	1 kg/cm ² (1基当たり)
	温 度	400 °C (MAX)	
	温 度	45 kg/cm ² G	
体 電 動 機	回 転 数 定 格	制 御 範 囲	450 °C
	形 式	3000 ~ 10000 rpm	
	格	3φ 400v 2p 加 [△] 形	
材 質	ケ ー シ ン グ 軸	250 kW (1基当たり)	
	イ ン ペ ラ	ステンレス鋼 低合金鋼	
回 転 数 制 御 装 置	形 式	可変電圧可変周波数方式	
	数 量	1 式	
	定 格 容 量	770 kVA	
	周波数可変範囲	50~220 Hz (連続)	
	周波数設定精度	±1%以内 (30°C ±10°C)	
	過負荷耐量	150% (60秒), 200% (30秒)	
	冷却方式	強制風冷方式	
	周 囲 温 度	-10 ~ 40°C	

Table 2.11 List of data file for M+A loop

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Year	,Month,Day	,Hour	,Min	,Sec	,*****	,*****	,*****	,*****	! 1
2	T101	,T102	,T103	,T104	,T105	,T106	,T107	,T108	,T109	,T110 ! 2
3	T111	,T112	,T113	,T114	,T115	,T116	,T117	,T118	,T119	,T120 ! 3
4	T121	,T122	,T123	,T124	,T125	,T126	,T127	,T128	,P101	,P102 ! 4
5	P103	,P104	,P105	,P106	,P107	,P108	,F101	,F102	,F103	,F104 ! 5
6	F105	,R101	,R102	,I101	,I102	,I103	,V101	,W101	,W102	,F106 ! 6
7	T201	,T202	,T203	,T204	,T205	,T206	,T208	,T209	,T210	,T211 ! 7
8	T212	,T213	,T214	,T215	,T216	,T217	,T218	,T219	,T220	,T221 ! 8
9	T222	,T223	,T224	,T225	,T226	,T227	,T228	,T229	,T230	,T231 ! 9
10	T232	,T233	,T234	,T235	,T236	,T237	,T238	,T239	,T240	,T241 ! 10
11	T242	,T243	,T244	,T245	,T246	,T247	,T248	,T249	,T250	,T251 ! 11
12	T252	,T253	,T254	,T255	,T256	,T257	,T258	,T259	,T260	,T261 ! 12
13	T264	,T265	,T266	,T267	,T268	,T269	,T270	,T271	,T272	,T273 ! 13
14	T274	,P201	,P202	,P203	,P204	,P205	,P206	,P207	,P208	,P209 ! 14
15	P210	,P211	,P212	,P213	,P214	,P215	,P216	,P217	,P221	,P222 ! 15
16	F201	,F202	,F203	,F204	,F205	,F206	,F207	,R201	,R202	,R203 ! 16
17	R204	,R205	,R206	,I201	,I202	,I203	,I204	,I205	,I206	,Y201 ! 17
18	W201	,W202	,W203	,W204	,W205	,K201	,K202	,F200	,F210	,***** ! 18
19	T301	,T302	,T303	,T304	,T305	,T306	,T307	,T308	,T309	,T310 ! 19
20	T311	,T312	,T313	,T314	,T315	,T316	,T317	,T318	,T319	,T320 ! 20
21	T321	,T322	,T323	,T324	,T325	,T326	,T327	,T328	,T329	,T330 ! 21
22	T331	,T332	,T333	,T334	,T335	,T336	,T337	,T338	,T339	,T340 ! 22
23	T342	,T343	,T344	,T345	,T346	,T347	,T348	,T349	,T350	,T351 ! 23
24	T352	,T353	,T354	,T355	,T356	,T357	,T358	,T359	,T360	,T361 ! 24
25	T362	,T363	,T364	,T365	,T366	,T367	,T368	,T369	,T370	,T371 ! 25
26	T372	,T373	,T374	,T375	,T376	,*****	,*****	,*****	,T420	,***** ! 26
27	A557	,A157	,A257	,A357	,A567	,P301	,P302	,P303	,P304	,P305 ! 27
28	P307	,P309	,P310	,P311	,P312	,P313	,F301	,F302	,I301	,I302 ! 28
29	I303	,I304	,V302	,V303	,W301	,W302	,L301	,L302	,R301	,***** ! 29
30	T401	,T402	,T403	,T404	,T405	,T406	,T407	,T408	,T409	,T410 ! 30
31	T411	,T412	,T413	,T414	,P401	,P402	,P403	,P404	,P405	,P406 ! 31
32	P407	,P408	,P411	,P412	,P413	,P414	,P415	,P416	,P417	,P418 ! 32
33	P419	,F401	,F402	,F403	,F404	,F405	,F406	,F407	,F408	,I401 ! 33
34	I402	,I403	,I404	,B418	,B428	,T501	,T502	,T503	,T504	,T505 ! 34
35	T506	,T507	,T508	,T509	,T510	,T511	,T512	,T513	,T514	,T515 ! 35
36	T516	,T517	,T518	,T519	,T520	,T521	,T522	,T523	,T524	,T525 ! 36
37	T526	,T527	,T528	,T529	,T530	,T531	,T532	,T544	,T545	,P501 ! 37
38	P502	,P503	,P504	,P505	,P506	,P507	,P508	,P509	,P510	,P511 ! 38
39	P512	,P513	,P514	,P515	,P516	,P517	,P518	,P519	,P520	,P521 ! 39
40	P522	,F501	,F502	,F503	,F504	,F505	,F506	,F507	,F508	,F509 ! 40
41	L501	,L502	,L503	,A501	,A502	,A503	,A504	,A505	,P440	,P441 ! 41
42	P442	,P443	,P444	,P445	,P446	,P447	,P448	,P449	,*****	,P601 ! 42
43	R701	,R702	,R703	,I702	,I703	,I704	,I709	,I714	,I715	,I716 ! 43
44	I717	,I718	,I719	,V701	,V702	,V703	,V704	,V705	,V706	,W701 ! 44
45	W702	,W703	,W704	,Z701	,Z702	,T801	,T802	,T803	,T804	,T805 ! 45
46	T806	,P801	,P802	,F801	,F803	,I801	,I802	,I803	,I804	,L801 ! 46
47	L802	,R801	,R802	,A521	,A522	,A523	,A524	,A525	,A526	,***** ! 47
48	A551	,A552	,A553	,A554	,A555	,A556	,A151	,A152	,A153	,A154 ! 48
49	A155	,A156	,A251	,A252	,A253	,A254	,A255	,A256	,A351	,A352 ! 49
50	R353	,R354	,R355	,R356	,R561	,R562	,R563	,R564	,R565	,R566 ! 50

Table 2.12 List of data file for plant instrumentation on T₁ test section

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	FH101, FW301, Year, TC201, WF201, WF209, *****, FH201, FH101								1
2	FH001, WF101, Month, TC202, WF202, WF210, *****, FH201, FH001								2
3	TH002, PN303, Day, TC203, WF203, FW401, *****, FH202, FH201								3
4	PH002, *****, Hour, TC204, WF204, PN403, *****, FH203, S-Ori								4
5	FH101, *****, Min, TC205, WF205, WF211, *****, PH201, M-Ori								5
6	FH102, *****, Sec, TC206, WF206, WF212, *****, TH201, *****								6
7	FH103, *****, *****, TC207, WF207, *****, *****, TH202, *****								7
8	FH101, *****, *****, TC208, WF208, *****, *****, TH203, *****								8
9	TH101, LW301, *****, TC209, *****, LW401, *****, TC110, *****								9
10	TH102, PW301, *****, TC210, *****, PW401, *****, TC111, *****								10
11	TH103, PW302, *****, TC211, *****, PW402, *****, TC112, *****								11
12	*****, TW301, *****, TC212, *****, TW401, *****, TC113, *****								12
13	TH104, TW303, *****, TC213, *****, TW403, *****, TC114, *****								13
14	TH105, *****, *****, TC214, *****, *****, *****, TC115, *****								14
15	TH106, *****, *****, TC215, *****, *****, *****, RW301, *****								15
16	TH107, *****, *****, TC216, DF131, *****, *****, RW401, *****								16
17	TH108, *****, *****, TC217, *****, *****, *****, *****, *****								17
18	TH109, *****, *****, TC218, *****, *****, *****, *****, *****								18
19	TW302, *****, *****, TC201, *****, *****, *****, *****, *****								19
20	TW304, *****, *****, TC202, *****, *****, *****, *****, TC101								20
21	TH001, *****, *****, *****, *****, *****, PH003, TC102								21
22	PH001, *****, *****, *****, *****, *****, *****, TC103								22
23	PH104, *****, *****, TB201, *****, *****, *****, *****, TC104								23
24	TF106, *****, *****, TB202, *****, *****, *****, *****, TC105								24
25	TC101, *****, *****, TC203, TF207, *****, *****, *****, TC106								25
26	TC101, *****, *****, TC204, TF214, *****, *****, *****, TC107								26
27	TB101, *****, *****, TC205, TF221, *****, *****, *****, TC108								27
28	*****, *****, *****, TC206, TF228, *****, *****, *****, TC109								28
29	TC102, *****, *****, TB203, TF235, *****, *****, *****, *****,								29
30	TC102, *****, *****, TB204, TF242, *****, *****, *****, TC201								30
31	TB102, *****, *****, TB206, TF249, *****, *****, *****, TC202								31
32	*****, *****, *****, TB207, TF256, *****, *****, *****, TC203								32
33	TC103, *****, *****, TC207, TF263, *****, *****, *****, TC204								33
34	TC103, *****, *****, TC208, TF270, *****, *****, *****, TC205								34
35	TB103, *****, *****, TC209, TF277, *****, *****, *****, TC206								35
36	*****, *****, *****, TC210, TF284, *****, *****, C1411, TC207								36
37	TC104, *****, *****, TB214, *****, *****, *****, TC116, TC208								37
38	TC104, *****, *****, TB215, *****, *****, *****, TC117, TC209								38
39	TB104, *****, *****, TB217, *****, *****, *****, TC118, TC210								39
40	*****, *****, *****, TB218, *****, *****, *****, *****, TC211								40
41	TC105, *****, *****, TC211, TH206, *****, *****, *****, TC212								41
42	TC105, *****, *****, TC212, TH207, *****, *****, *****, TC213								42
43	TB105, *****, *****, TC213, FW204, *****, *****, *****, TC214								43
44	*****, *****, *****, TC214, TW402, *****, *****, *****, TC215								44
45	TC106, *****, *****, TB220, TW404, *****, *****, *****, TC216								45
46	TC106, *****, *****, TB221, TH210, *****, *****, *****, TC217								46
47	TB106, *****, *****, TB223, TH211, *****, *****, *****, TC218								47
48	*****, *****, *****, TB224, *****, *****, *****, *****, TC219								48
49	TC107, *****, *****, TC215, FW405, *****, *****, *****, TC220								49
50	TC107, *****, *****, TC216, FW406, *****, *****, *****, *****,								50
51	TB107, *****, *****, TC217, FW406, *****, *****, *****, *****,								51
52	*****, *****, *****, TC218, *****, *****, *****, *****, *****,								52
53	TC108, *****, *****, TB226, *****, *****, *****, *****, *****,								53
54	TC108, *****, *****, TB227, *****, *****, *****, *****, *****,								54
55	TB108, *****, *****, TB229, *****, *****, *****, *****, *****,								55
56	*****, *****, *****, TB230, *****, *****, *****, *****, *****,								56
57	TC109, *****, *****, TH204, *****, *****, *****, *****, *****,								57
58	TC109, *****, *****, TH205, *****, *****, *****, *****, *****,								58
59	TB109, *****, *****, TH206, *****, *****, *****, *****, *****,								59
60	*****, *****, *****, TH209, *****, *****, *****, *****, *****,								60
61	*****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****,								61
62	*****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****,								62
63	*****, *****, *****, MCool, *****, *****, *****, *****, *****,								63
64	*****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****, *****,								64

Table 2.13 List of data file for test instrumentation on T₁ test section

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	TH110, TH112, TH113, TH114, TH115, *****, TF111, TF112, TF113, TF114!	1								
2	TF101, TF102, TF103, TF104, TF106, TF106, TF107, TF108, TF109, TF110!	2								
3	TB101, TB102, TB103, TB104, TB105, TB106, TB107, TB108, TB109, ****!	3								
4	TC101, TC102, TC103, TC104, TC105, TC106, TC107, TC108, TC109, ****!	4								
5	TH212, TH214, TH215, TH216, TH217, TH218, TH219, TH220, TH221, TH222!	5								
6	TH223, TH224, TH225, TH226, TH227, TH228, TH229, TH230, TH231, TH232!	6								
7	TH233, TH234, TH235, TH236, TH237, ****, TC215, TC216, TC217, TC218!	7								
8	TF201, TF202, TB269, TF204, TB272, TB273, TF207, TF208, TF209, TB265!	8								
9	TF211, TB266, TB267, TF214, TF215, TF216, TB282, TF218, TF219, TF220!	9								
10	TF221, TF222, TF223, TB233, TB235, TF226, TB237, TF228, TF229, TF230!	10								
11	TB281, TF232, TB284, TF234, TF235, TF236, TF237, TB257, TF239, TB258!	11								
12	TB259, TF242, TF243, TF244, TB261, TF246, TB262, TB264, TF249, TF250!	12								
13	TF251, TB278, TF253, TB279, TB280, TF256, TF257, TF258, TB260, TF260!	13								
14	TB263, TB270, TF263, TF264, TF265, TB271, TF267, TB276, TB277, TF270!	14								
15	TF271, TF272, TB268, TF274, TB274, TB275, TF277, TF278, TF279, TB254!	15								
16	TF281, TB255, TB256, TF284, ****, ****, TC211, TC212, TC213, TC214!	16								
17	TB201, TB202, TB203, TB204, TB241, TB206, TB207, TB245, TB249, TB283!	17								
18	TB232, TB234, TB236, TB214, TB215, TB238, TB217, TB218, TB240, TB220!	18								
19	TB221, TB244, TB223, TB224, TB248, TB226, TB227, TB252, TB229, TB230!	19								
20	TC201, TC202, TC203, TC204, TC205, TC206, TC207, TC208, TC209, TC210!	20								
21	TH111, TF104, TF105, TF106, ****, ****, ****, ****, ****, TH213!	21								
22	TF204, TF207, TF211, TF214, TF218, TF221, TF225, TF228, TF232, TF235!	22								
23	TF239, TF242, TF246, TF249, TF253, TF256, TF260, TF263, TF267, TF270!	23								
24	TF274, TF277, TF281, TF284, ****, ****, ****, ****, ****, ****!	24								
25	PH104, PH105, PH106, PH107, PH108, PH109, PH110, PH111, PH112, PH113!	25								
26	PH114, PH115, PH116, PH117, PH118, PH119, PH120, PH121, PH122, PH123!	26								
27	PH124, TB231, TB239, TB242, TB243, TB246, TB247, TB250, TB251, TB253!	27								
28	FH204, FH205, FH206, FH207, FH208, FH209, FH210, FH211, FH212, FH213!	28								
29	FH214, FH215, FH216, FH217, FH218, FH219, FH220, FH221, FH222, FH223!	29								
30	FH224, FH225, FH226, FH227, ****, ****, ****, ****, PH204, PH205, PH206!	30								
31	PH101, PH201, PH002, FH101, FH102, FH103, FH201, FH202, FH203, FH001!	31								
32	WF101, WF201, WF202, WF203, WF204, WF205, WF206, WF207, WF208, WF209!	32								
33	WF210, WF211, WF212, ****, ****, ****, ****, ****, ****, ****, FW406!	33								
34	****, ****, ****, ****, ****, TF115, TF116, TF117, TF118, TF119, TF120!	34								
35	TH101, TH102, TH103, TH201, TH202, TH203, TH002, ****, TH116, TH117!	35								
36	TH204, TH205, TH206, TH207, TH208, TH209, TH210, TH211, ****, ****!	36								
37	FH231, FH232, FH233, FH234, FH235, FH236, FH237, FH238, FH239, FH240!	37								
38	FH241, FH242, FH243, FH244, FH245, FH246, FH247, FH248, FH249, FH250!	38								
39	FH251, FH252, FH253, FH254, PH131, PH132, PH133, ****, ****, ****!	39								
40	TW405, TW406, ****, ****, ****, ****, ****, ****, ****, ****!	40								

Table 2.14 List of data file for plant instrumentation on T₂ test section

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	K101	,K102	,K103	,K104	,K105	,K106	,K107	,C101	,C102	,C103	!
2	C104	,C105	,C106	,C107	,C2021	,C2022	,C233	,C203A	,C543	,C549	!
3	C204A	,C206A	,C207A	,C231	,C203B	,C542	,C546	,C204B	,C206B	,C207B	!
4	FH101	,FH102	,FH103	,FH104	,FH105	,FH106	,FH107	,C207A	,*****,*****,*****	!	4
5	*****,FH202	,FH203	,*****,FH205	,FH206	,FH208	,*****,*****,*****,PH207	!	5			
6	WM501	,WM502	,WM503	,WM504	,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	6				
7	IM501	,IM502	,IM503	,IM504	,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	7				
8	VM501	,VM502	,VM503	,VM504	,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	8				

Table 2.15 List of data file for test instrumentation on T₂ test section

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	TH001	,TH002	,TH003	,TH004	,TH005	,TH006	,TH007	,TH008	,TH009	,TH010	!
2	TH011	,TH012	,TH013	,TH014	,TH015	,TH016	,TH017	,TH018	,TH019	,TH020	!
3	TH021	,TH022	,TH023	,TH024	,TH025	,TH026	,TH027	,TH028	,TH029	,TH030	!
4	TH031	,TH032	,TH033	,TH034	,TH035	,TH036	,TH037	,TH038	,TH039	,TH040	!
5	TH042	,TH043	,TH044	,TH045	,RoomT	,TH109	,TH110	,TH111	,TH052	,TH209	!
6	TC001	,TC002	,TC003	,TC004	,TC005	,TC006	,TC007	,TC008	,TC009	,TC010	!
7	TC011	,TC012	,TC013	,TC014	,TC015	,TC016	,TC017	,TC018	,TC019	,TC020	!
8	TC021	,TC022	,TC023	,TC024	,TC025	,TC026	,TC027	,TC028	,TC029	,TC030	!
9	TC031	,TC032	,TC033	,TC034	,TC035	,TC036	,TC037	,TC038	,TC039	,*****	!
10	*****,*****,TM003	,TM004	,TM005	,TM006	,TM007	,TM008	,TM009	,TM010	!	10	
11	TM011	,*****,TM013	,*****,*****,*****,TM017	,TM018	,TM019	,TM020	!	11			
12	TM021	,TM022	,TM023	,TM024	,TM025	,TM026	,TM027	,TM028	,*****,*****	!	12
13	*****,TM032	,TM033	,TM034	,TM035	,TM036	,TM037	,TM038	,TM039	,*****	!	13
14	TM104	,TM105	,TM106	,TM107	,TM108	,TM109	,TM110	,TM111	,TM112	,TM113	!
15	TM114	,TM115	,TM116	,TM117	,TM118	,TM119	,TM120	,TM121	,TM122	,TM123	!
16	TM124	,TM125	,TM213	,TM214	,TM215	,TM216	,TM217	,TM218	,TM219	,TM220	!
17	TM201	,TM202	,TM203	,TM204	,TM205	,TM206	,TM207	,TM208	,TM209	,TM210	!
18	TM221	,TM222	,TM223	,TM224	,TM225	,TM226	,TM227	,TM228	,*****,*****	!	18
19	*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	19								
20	TH121	,TH122	,TH123	,TH124	,TH125	,TH126	,TH127	,*****,*****,*****,*****	!	20	
21	TH101	,TH102	,TH103	,TH104	,TH105	,TH106	,TH107	,TH108	,*****,TH041	!	21
22	TH201	,TH202	,TH203	,TH204	,TH205	,TH206	,TH207	,TH208	,*****,*****	!	22
23	TM001	,TM002	,TM012	,TM014	,TM015	,TM016	,TM030	,TM031	,TM211	,TM212	!
24	TM101	,TM102	,TM103	,TM131	,TM132	,TM133	,TM134	,TR101	,TR102	,TR103	!
25	PH001	,PH002	,PH003	,PH004	,PH005	,PH006	,*****,*****,*****,*****,*****	!	25		
26	PH201	,PH202	,PH203	,PH204	,PH205	,PH206	,*****,*****,*****,*****,*****	!	26		
27	FH101	,FH102	,FH103	,FH104	,FH105	,FH106	,FH107	,*****,*****,*****,*****	!	27	
28	*****,FH202	,FH203	,*****,FH205	,FH206	,FH208	,*****,*****,*****,*****	!	28			
29	DZ001	,DZ002	,DZ003	,DZ004	,DZ005	,DZ006	,*****,*****,*****,*****,*****	!	29		
30	*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	30								
31	*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	31								
32	*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	32								
33	SM001	,SM002	,SM003	,SM004	,SM005	,SM006	,SM007	,SM008	,SM009	,SM010	!
34	SM001	,SM002	,SM003	,SM004	,SM005	,SM006	,SM007	,SM008	,SM009	,SM010	!
35	SM011	,SM012	,SM_BV	,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	35					
36	SM011	,SM012	,SM_BV	,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	36					
37	*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****,*****	!	37								
38	Year,Month, Day, Hour, Min, Sec,*****,*****,*****,*****,*****	!	38								

Table 3.1 Cause and countermeasure of trouble on operation cycles (1/5)

サイクル	項目	原因	対策
No.1	集中型SEQ FIFOの修正及び追加 分散型POLゴムの修正 DDCモジュール設定値の変更		ソフトウェアの修正及び改造を行う
	分散型計装システムダウン	インターフェース制御装置プリント板の故障	プリント板の交換
	加圧水伝導度計指示不良	伝送器とDDC内部で接地していたため	絶縁変換器の接地
	ガス循環機温度指示不良	熱電対配線の断線	断線箇所の調査
	B ₁ の2kg/cm ² の昇圧が出来ない	回転数制御装置の出力容量が足りない	容量の増加の検討
	手動弁、電動弁、安全弁より漏れ	弁座と弁のシール面の不良	弁の摺り合わせ
No.2	冷却水温度(T805)H発生	UC系冷却水流量不足	C ₃₃ , C ₃₄ の冷却水流量見直し
	主圧縮機B ₄₂ トリップ	3~5段オルベール検地器の感度不良	検地器の感度調整
	循環流量(F203)指示不良	伝送器用均圧弁の弁座漏れ	弁座の摺り合わせ
	H ₃₂ 地絡電流計測不可	変圧器中性点接地抵抗器の端子部断線	接地抵抗器の交換
	CVCFのランプテストスイッチで故障発生	ランプテストスイッチで警報表示リレーを作動させる	ランプテスト回路の変更
	冷却塔の通水穴が目づまり	冷却配管内の錆が集中して放出する	要検討 ……水質管理の強化
	N ₂ , Heガスの漏れ	弁座漏れ、グランドのゆるみ	弁座の摺り合わせ及びグランド増締め
No.3	B ₂₃ , H ₃₁ , H ₃₂ トリップ	・H ₃₂ 現場盤故障発生(純水温度高) ・ディストリビュータ故障	UC系冷却水流量を増やす 予備のディストリビュータと交換
	B ₂₃ 電力(W203)指示不良	電力/電流変換器の故障	電力/電流変換器の修理
	ガス循環機巻線温度H ₁₁ H ₁₂ 発生	コネクターソケット接触(ハンド付)不良	接続部を圧着型コネクターに 交換
	補給水ポンプ出口圧力H発生	出口逆止弁不良	逆止弁の分解点検
	He冷却器(C ₅₁)出口温度H発生	冷凍機C ₅₂ の冷媒漏れのため、冷却不足	冷媒の補充と漏れ箇所検査
	真空ポンプ(VP ₅₁)起動時にトリップ	真空引込管にヘリウムガスが漏れ、ポンプの過負荷	ポンプ起動時のバルブ操作手順 の変更
No.4	循環機B ₂₁ 起動不可	回転数検出器のコイル断線のため	交換用回転数検出器の手配及び 交換
No.5	CVCF装置の出力電圧が降下 DDCがダウン	H ₃₁ , H ₃₂ を投入すると出力電圧が降下する	CVCF装置の出力電圧を調整

Table 3.1 Cause and countermeasure of trouble on operation cycles (2/5)

番号	項目	原因	対策
No.4 No.5	T _{1-S} 補償ヒータの制御不良	制御ループの出力値=30%で最大電力になる	制御入力に対する出力電圧の調整
No.6	循環機回転数計の指示不良 真空ポンプの真空度が立たない T _{1-S} 葉注ポンプの吐出圧不良	変換器不良 Oリングが切断されていた 吐出側ボルバルブ部に切り粉等の詰まり	基板の修理 Oリングの取替え及び交換 分解、清掃を実施
No.7	循環機B ₁ 回転数計不良 冷却水系配管の目詰まり T ₁ 加圧水系循環ポンプ起動トリップ	コネクタ部に金属粉が付着し、短絡・接地した ハドロ、錆等でライン及びワイヤーが詰まっていた 1秒以内に所定流量が確保されない	回転数検出器の修理 配管清掃及びワイヤー洗浄 タイマーを5秒に変更
No.8	LN ₂ 供給配管に結露 P513指示不良	真空二重配管の真空度劣化 圧力発信器の不良	真空引きを実施 圧力発信器の交換
No.9	循環機B ₂₃ , B ₂₄ トリップ 加熱器H ₁ 上部鏡よりHeリーク	2台目の起動時にMGの回転数が低下する	回転数警報設定器の調整 上部鏡開放、Oリングの交換
No.10	フィルタ-F ₁ の差圧が大きい SA531のアンサバッカが戻らない	容量が小さいのに流量が多すぎる リミットスイッチの動作不良	フィルターエレメントの交換 リミットスイッチの調整
No.11	M ₁ ループ精製流量低低が発生 T _{1-M} 模擬燃料棒抵抗異常	MB又はCBの目詰まり	フィルターの清掃、充填剤の交換 上部鏡開放、点検、修理する
No.12	B ₅₂ オイルポンプ停止渋滞発生 B ₄₂ 5段出口フランジよりHe漏洩	オイルレベルメータ33QHの動作不良 パッキンの損傷	レベル計の修理 パッキンの交換
No.13	電力計の指示不良 B ₅₂ , B ₆₁ トリップ	メーターの不良 ストレーナーの目詰まり	メーターの交換 ストレーナーの分解、清掃
No.14	LN ₂ 供給配管結露 T _{1-M} IVR動作不良	真空断熱配管真空度低下 補助リレーの動作不良	真空引きを実施 リレー交換
No.15	フィルターF ₅₂ より漏洩		ガスケットを交換
No.16	水分センサ指示不良 真空ライン(P418)圧力H発生	センサーの劣化、不良 SM417の弁座漏れ	センサーの交換 弁座の摺り合わせ

Table 3.1 Cause and countermeasure of trouble on operation cycles (3/5)

サイクル	項目	原因	対策
No17	酸素計不調	燃料セルの放電による	燃料セルの再充電
	T ₂ 領域別ヒータ-電流アンバランス	ヒーターのV-W間が短絡	マンホール開放、内部点検
No18	WP ₃₂ シャフトより水漏れ		ターニングで漏れが止まった
	電極冷却油ポンプの2台のうち1台の電流値が大きすぎる	フィルターの目詰まりを起こしていたため性能に差がおきた	オイルフィルターの清掃
	屋外の手動弁の錆が多発	老朽及び塩害による	潤滑油の注油により当面作動させる
No19	H ₃₂ 地絡発生	ヒータ-エレメントの地絡	ヒータ-エレメントの全数交換
	T ₂ 中心領域ヒータ-地絡	酸化物が絶縁材等に付着していた	開放点検で清掃等を実施
	H ₃₁ , H ₃₂ , B ₂₃ , B ₂₄ トリップ	冷却水量が少なく、配分ができなかった	Uc系の改造、見直しの検討
	B ₁ 過電流トリップ	上部ジャ-ナル周辺のロ-タ-が錆びていた	メーカー修理
No20	H ₃₂ 地絡発生	ヒーター内部で地絡発生	開放点検及び調査
	C ₃₂ 異常音発生		開放点検及び調査
No21	H ₃₂ 不平衡電流発生	ヒータ-エレメント接続部の接触不良	開放点検
	高温ループ循環流量L	フィルターF ₂₂ の目詰まり	開放点検でエレメント清掃
No22	H ₂ , H ₃₁ , B ₂₂ トリップ	B ₂₂ の熱電対の接触不良による	下部フランジを計装フランジに交換
	温度(T270)CRT表示不良	電気変換器の不良	電気変換器の交換
	カ-ドル接続配管にピンホール	材質の不良	配管の交換
No23	電極油冷却配管より油漏れ	パッキン不良、銀ろうの老朽化	増締め、パッキン交換、修理
	DDCダウン	バリティーエラーが発生	テストプログラムのランニング
No24	B ₁ , C ₁ , T ₁ -Sの冷却水流量不足	冷却水流量のアンバランス	冷却水配管の改造
	回転数制御装置トリップ	温度計接触不良、部品不良	点検修理
	油冷却ポンプ起動しない	電磁接触器の接触不良	電磁接触器の交換
	酸化銅ベッドの圧損が大きい	F ₅₁ の目詰まり、内部フィルターの破損	F ₅₁ の開放、エレメントの交換
No15	B ₃ 回転数制御装置停止	DCコンタクターのコイルが焼損	DCコンタクターの交換
	T ₂ 領域別ヒータ-の出力異常	IVRの零点がずれている	IVR零点の調整
	H ₃₂ 不平衡電流アラーム発生	V1相の断線	開放点検

Table 3.1 Cause and countermeasure of trouble on operation cycles (4/5)

サイクル	項目	原因	対策
No.26	B ₃ 回転数制御装置故障発生	不足電圧検出用基板のペアンプの劣化	オペアンプの交換
	H _{3.2} 不平衡電流発生 (MV=0の時)	制御装置の点弧角位相バランスのずれ	点弧角の調整ユニットの交換及び調整
	T ₂ 領域別ヒータートリップ	中心領域ヒーター地絡	開放点検
No.27	B _{2.1} 上部軸受ダッシュボックス異常		開放点検
	フィルターF _{2.2} 差圧異常	フィルターの目詰まり	フィルター要素の交換
No.28	系統よりヘリウムリーク		増締め、ガスケット交換
	B _{5.1} コントロールバルブ故障発生	ポンプが不調でオイルが供給出来ない	オイルポンプの点検
No.29	B _{2.1} 停止	アンサーバック用タイマーの不良	タイマーの交換
	H _{3.2} 電極U相温度異常上昇		電極の改造の検討
	SRM異常	メモリーボード及び電源カードの故障	
	系統ヘリウムリーク		漏洩箇所調査及びガスケット交換等
No.30	B _{2.1} , B _{2.2} 連続起動不能	B _{2.2} の起動ラッシュでB _{2.1} の回転数が下がる	B ₂ MGを調整
	C _{3.2} 異常音発生		開放し、伝熱管の点検
	計装用空気槽マントルよりリーク	ガスケットの取付不良	ガスケット交換
No.31	B ₃ 回転数制御装置故障発生	発電機出力用MCB短絡トリップ	ベンレコーダーを接続し、様子を見る
	B ₂ 回転数制御装置故障発生	温度検出器動作不良	点検の実施
	B _{4.1} , B _{4.2} コントロールバルブ故障発生	圧縮機出口チャッキ弁のシート漏れ	チャッキ弁の分解清掃
No.32	T ₂ 領域別ヒータートリップ	カーボンデポジットによる短絡	開放点検及び清掃等
	B ₂ 回転数制御装置故障発生	温度検出器動作不良	温度検出器の交換、盤内配線の変更
	循環流量の指示不良	安全防護用の流量演算器の不良	流量演算器の点検調整
No.33	H ₂ 地絡電流発生	大地間の絶縁抵抗が0MΩだった	開放点検実施
	集中型U-400ハンドディスクより異音	モーター用ブーリーの異常	ハードディスク装置を一式交換
No.34	温度HHによる機器のトリップ	温度計測回路の不良、ノイズ	レコーダート設置し監視
	B _{2.1} コントロールセンタ過電流トリップ	計装用コンデンサー-B _{6.1} モーターのがショートした	モータ-巻線の巻替え及び絶縁処理

Table 3.1 Cause and countermeasures of trouble on operation cycles (5/5)

番号	項目	原因	対策
No.35	B ₃ 回転数制御装置故障発生	温度検出器及び温度計の不良	温度検出器と温度計の交換
	MB ₅₂ 温度調節用サイリスタ故障	相間出力電圧のアンバランス	サイリスタの交換
No.36	H ₃₂ V1相電極加熱	電極締め付けナット等のゆるみ	次回運転時調査
	Uc系ディジタル重故障発生	C ₃₂ 冷却水流量低が発生	
	C ₃₂ 異常音発生		配管等にセンサーを取付、調査
No.37	H ₂ 不平衡電流発生	差電流変換器、SCR、点弧回路の異常	点検・修理
No.38	H ₁ 入力制御装置故障発生	入力制御装置内の冷却扇のリミットスイッチ不良	冷却扇の風量センサーの交換
	水分センサー感度不良	検出セルの不良	検出センサーの交換
No.39	C ₃₂ 異常音発生	不明	配管等にセンサーを取付、調査
No.40	B ₃ 回転数制御装置の回転数が急に上昇し、火花を出して停止	長期間停止していたため回転数検出器の検出がうまくいかず、ファードバックができない	再起動して良好

Table 3.2 CO-oxidation temperature characteristics on copper oxide beds

S B 中心温度°C	S B入口CO濃度 p p m	S B出口CO濃度 p p m	CO酸化率 %	S B出口CO ₂ 濃度 p p m
20	51.62	50.98	1.2	0.00
30	47.83	46.50	2.7	0.00
40	52.66	49.27	6.43	0.00
50	52.37	48.82	6.78	3.68
60	53.14	46.40	12.6	4.26
70	49.54	32.39	34.62	16.29
80	53.22	32.44	39.05	17.41
90	50.28	30.22	39.89	18.01
100	51.95	10.22	80.33	36.89
105	48.35	2.48	94.87	44.01
110	51.98	0.00	100	48.24
120	55.66	0.00	100	48.02
150	51.67	0.00	100	45.83

Table 3.3 H₂-oxidation temperature characteristics on copper oxide beds

SB 中心温度°C	SB入口H ₂ 濃度 p p m	SB出口H ₂ 濃度 p p m	H ₂ 酸化率 %	SB出口H ₂ O濃度 p p m
120	42.81	10.23	76.10	2.69
130	—	—	—	—
140	—	—	—	—
150	—	—	—	—
160	44.82	2.32	94.82	33.7
162	45.51	2.38	94.77	34.3
163	47.14	0.00	100	35.4
165	43.92	0.00	100	35.1
170	48.82	0.00	100	38.7

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (1/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 1	フィルター元素交換	前回運転時に発生したダストの除去
	マイクアップ系圧縮機化学洗浄	ジャケット内部及び冷却系統の化学洗浄
	加熱器H ₃₁ 開放点検	前回運転時の絶縁抵抗低下の原因調査
	マイクアップ系改造工事	制御法を減圧弁式から圧力調節弁式に変更
	精製系ガス循環機分解点検	オイルアップの原因調査及び修復
No. 2	フィルターF ₁ 内部構造変更	熱変形を防止するため仕切板を厚くする
	精製系均圧ライン改造	精製系下流側の均圧ラインを上流側へ移設
	精製系逆止弁改造	コイルバネ式から板バネ式の弁に変更
	精製系ガス循環機アフタークーラー設置	吐出温度が高すぎるため冷却器をつける
	精製系フィルター開放点検	エレメントの点検及び洗浄、ダストの分析
	高圧ガス取締法に基づく保安検査	圧力容器気密検査及び各種検査
No. 3	第一種圧力容器定期検査	圧力容器の開放検査及び各種検査
	圧縮機類オーバーホール	B ₄₂ , B ₅₂ , B ₆₁ , B ₆₂ の分解点検
	フィルターF ₂₁ エレメント交換	前回の運転によるダストの付着状況調査
	純水装置定期点検	タンク清掃、弁の点検、弁用脱湿器設置等
	高圧ガス取締法に基づく定期自主検査	ブルドン管式の検査、CEの検査
No. 4 No. 5	ガス循環機B ₂₄ 据付工事	B ₂₄ の空气中運転、単体耐圧試験
	M _u 系圧縮機の調査検討	シール油の系統への漏れの調査、原因不明
	精製系冷凍機の調査検討	冷媒の漏れの調査、原因是継手部の緩み
	U _c 系流量及び配管系の調査検討	流量低下原因の調査、原因是管内面の腐食
	U _c 系の水質管理検討	防錆剤と排水量が大きめであった
No. 6	フィルター目詰まりの検討	F ₅₄ , F ₄ は分解点検の結果、目詰まりあり
	高圧ガス製造施設保安検査	圧力容器気密検査及び各種検査
	純水装置定期点検	各種タンク清掃及び漏れ検査、樹脂入替等
	高架水槽、ポンベ室建家塗装工事	ケレン及び塗装（塩化ゴム系塗料を使用）
	精製系サンプリング用弁の交換	水分計用手動弁をCv値の小さい弁に交換
	調節弁開放点検	M _u 系調節弁（7台）の点検、調整及び修理
	ヘリウムガスカードル配管増設	カードル4基増設に伴う配管新設
	H ₃₁ 開放点検	3000h運転後の内部耐熱構造物の調査
	H ₃₂ 開放点検	1100h運転後の内部耐熱構造物の調査
	ガス循環機B ₂₄ 接続配管及び据付	B ₂₄ をM ₂ ループに接続するための配管
	M+A第一種圧力容器定期検査	圧力容器の開放検査及び各種検査
	圧縮機分解点検	M _u 系、M _p 系、及びIn系圧縮機の定期自主検査
	真空ポンプ分解点検	計9台について分解点検、劣化部品の交換
	冷却水ポンプ分解点検	U _c 系及び加圧水系ポンプの分解点検

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (2/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 6	真空ポンプ用元弁分解点検	SA521, 522, 524, 525, 527の分解、弁摺合せ
	精製系冷凍設備分解点検	分解点検、部品交換、制御系調整
	高圧ガス製造施設変更申請	カードル用配管、B ₂₄ 用配管等を対象
	T ₁ 第一種圧力容器定期検査	圧力容器の開放検査及び各種検査
	T ₁ -S試験体組替作業	中温模擬燃料棒を高温模擬燃料棒に組替
No. 7	T ₁ -M内蔵冷却器の改造	冷却能力過大のため伝熱面積削減
	高圧ガス製造施設保安検査・定期自主検査	気密及び各種検査、水冷ジャケット開放
	H ₂ 開放検査	3270Hr運転後の内部耐熱構造物の調査
	H _{3,2} 腐食原因調査	水冷ジャケット部の容器表面の腐食調査
	加熱器、冷却器水冷ジャケット部化学洗浄	H _{3,1} , H _{3,2} , C _{3,1} , C _{3,2} 水冷ジャケット部の洗浄
No. 8	Uc系の腐食モニタリング	モニタリング用試験片をUc系水槽に浸漬
	薬液注入ポンプ分解点検	T ₁ -S用薬液注入ポンプ吐出圧低の原因調査
	ガス循環機B ₁ 関連調査	分解点検調査、仮設架台での駆動試験
No. 9	Uc系冷却水の水質管理方法の調査	腐食状況調査及び防錆剤の種類変更
	冷却水水質分析及び管理	水質分析の手法の確立
	ガス循環機(B ₁)の修理	工場での修理、仮設架台での試験運転
No. 10	高圧ガス製造施設保安検査	自主検査、気密検査及び各種検査
	純水装置定期点検	各種タンク清掃及び漏れ検査、試運転等
	T ₁ 試験部水冷ジャケット部化学洗浄	酸洗浄による腐食生成物の除去
	冷却器伝熱管化学洗浄	酸洗浄による腐食生成物の除去
	精製系冷凍設備の点検	冷却水配管に制水弁を新規に設置
No. 11	空気作動弁分解点検	分解点検、部品交換、動作試験
	真空ポンプの点検整備	分解点検、部品交換、動作試験
	冷却水ポンプ分解点検	WP _{31, 32} は分解点検、Uc系は軽微な点検
	電動弁、手動弁の点検	M ₂ 用電動弁14個、手動弁11個の分解点検
	加熱器(H ₁)のHeガス漏洩防止対策	鏡板部フランジの漏れ個所をシール溶接
No. 12	T ₁ -M試験体組替作業	中温模擬燃料棒を高温模擬燃料棒に組替
	圧縮機の分解点検	B _{41, 42, 51, 52, 61, 62} の分解点検、作動試験
	ガス循環機(B ₁)の修理	ガス軸受焼付損傷部の修理、フィールドバランス
	圧力制御用循環機の設置	T ₂ 試験部の差圧制御・緊急冷却のため設置
	T ₁ -S試験体交換	指数関数状発熱分布の高温燃料棒へ入替
No. 13	T ₁ -M試験体点検・修理	均一発熱高温模擬燃料棒の分解修理
	T ₁ 試験部の弁点検	計14台の弁について分解点検
	圧縮機類点検	B _{41, 42, 51, 52} の分解点検
No. 14	真空ポンプ点検	M+A系7台、Mp系2台、T ₁ 系1台の分解点検

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (3/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 13	第一種圧力容器点検	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
No. 14	Mp系冷凍設備点検	計器等の校正, フレオングス漏洩試験
No. 15	純水装置点検	タンク清掃, 再生, 中和, 精製試運転等
No. 16	T ₁ -S試験体組替作業	高温模擬燃料棒を模擬制御棒に組替
	T ₁ -M試験体組替作業	模擬燃料棒交換, プロックにダウエルピン取付
No. 17	高圧ガス製造施設定期自主検査	気密試験, 圧力計検査, 安全弁検査等
	T ₁ -S制御棒駆動機構の整備	制御棒挿入部, 熱遮蔽板及びT/C位置の変更
	T ₂ 試験部のフラッシング運転	建設完了に伴うN ₂ ガスによるフラッシング
No. 18	フィルターF _{21, 22} エレメント交換	平鏡板修正加工, エレメント洗浄及び交換
No. 19	純水装置改修	カートリッジ式イオン交換樹脂へ変更, 再生用タンク類は撤去した
	高圧ガス製造施設保安検査	自主検査, 気密検査及び各種検査
	冷却器C ₂ 開放点検	伝熱管蒸気洗浄, 伝熱管肉厚測定(UT法)
	冷却水系ポンプ分解点検	WP _{81, 82, 83} の分解点検, 試運転
	圧縮機冷却水系統化学洗浄	Mp系圧縮機B _{51, 52} の冷却水管の化学洗浄
	圧縮機分解点検	B _{41, 42, 52, 61, 62} の分解点検, 試運転
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	T ₁ -S試験体組替作業	模擬制御棒を中温模擬燃料棒に組替
	T ₁ -M試験体組替作業	流路閉塞用模擬ブロックの装着
No. 20	T ₂ マンホールシール部改修	Oリング式からうず巻きガスケット式へ変更
	Mu系手動弁分解点検	屋外設置のMu系弁9台について分解点検
	Mp系空気作動弁分解点検	分解点検, 弁シート面の摺合, Oリング交換
	真空ポンプ分解点検	真空ポンプ10台について分解点検, 試運転
	内管破損試験用差圧計の取付	高温二重管の内管破損検出用差圧計取付
	Mu系, Mp系配管等の改造	Mu系ポンベ接続管に圧力検出器を設置等
No. 21	T ₁ -M試験体組替作業	セラミック製流路閉塞治具の設置
	ガス循環機B1の不具合及び組替	予備B ₁ の起動トルク過大のためB ₁ と交換
	Mp系モジュラーパッキン, 酸化銅の交換作業	劣化のため充填物質を新しいものと交換
No. 22	冷却器C ₃ 開放点検	分解点検, 探傷試験等の検査, 気密試験
	フィルタF ₂₁ 及びF ₂₂ エレメント交換	分解点検, エレメント交換, エレメント洗浄
	予備ガス循環機B ₁ の点検修理	工場修理, 空気中作動試験, ループ組込
	T ₁ -S試験体組替作業	正弦状発熱分布の高温模擬燃料棒へ組替
	精製系酸化銅パッド開放点検	SB52酸化銅パッド底板破損部の修理
	高圧ガス製造施設保安検査	事前検査, T ₁ -S, T ₁ -M, T ₂ 容器の溶接部検査, 各種検査, 気密試験
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (4/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 22	各種ポンプ点検	A系アレンジャーポンプの分解点検
	M ₁ , Mu, Mp系フィルタ開放点検	分解点検, エレメント洗浄, エレメント交換
	冷却器C _{3,2} 水室・伝熱管内洗浄	高温高压水によるジェット洗浄, 探傷試験
	Mp系冷凍設備点検調整	冷媒漏洩試験, 計測制御系作動試験
	T ₁ 試験部油冷却設備点検	分解点検, ホース等消耗部品交換, 油交換
	T _{1-S} 試験体組替作業	高性能模擬燃料棒へ組替
	T _{1-M} 試験体組替作業	クロスプロ-試験用ダウエルピンを模擬プロックに設置
	予備ガス循環機(B ₁)部品交換	国産部品を作成し, ユト-社製部品と交換
	圧縮機類定期点検	B _{4,1} , B _{4,2} , B _{5,1} , B _{5,2} , B _{6,1} , B _{6,2} の分解点検
No. 23	真空ポンプ点検	1VP-001, 2VP-201の分解点検
	Uc系冷却水配管改造	主として分岐管の口径を大きめに改造 付属の弁, 流量計も大きめにした
	加熱器電極冷却設備改造	H _{1,2} , H _{3,1,3,2} の冷却方式を油冷却法に改造
	フィルタ開放点検	F _{2,1} , F _{2,2} の分解点検, エレメント洗浄及び交換
No. 24	T _{1-M} 流量測定用ピト-管補修	上部鏡板を開放し、ピト-管の調査及び補修
	高圧ガス製造設備定期自主検査	圧力計検査, 安全弁検査, 気密試験等
	Mp系酸化銅ベッド修理	SB _{5,2} 底部プロレートフィルタ-を新フィルタ-と交換
	弁類点検	Mp, Mu, Uc系弁30台について分解点検
	フィルタ-分解点検	F _{2,2} 分解点検, エレメント交換
	水処理設備改造	Uc系防錆タンクを新タンク(SUS製)に更新
	T _{1-S/M} 試験体組替	T _{1-M} はクロスプロ-試験用ダウエルピン調整, T _{1-S} は流路管取出後制御棒駆動装置取付準備
No. 25	T _{1-S} 制御棒駆動装置設置	実規模制御棒駆動装置の設置
	フィルタ-分解点検	F _{2,2} 分解点検, エレメント交換
	T _{1-S} 制御棒駆動装置設置	実規模制御棒駆動装置の設置, 気密試験
No. 26	高圧ガス製造施設保安検査	事前検査, 各種検査, 気密試験
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	圧縮機定期点検	B _{4,1,4,2} , B _{5,1,5,2} , B _{6,1,6,2} の分解点検, 試運転
	T ₁ 試験部弁類点検	電動弁10台の分解点検, 弁座摺合せ
	フィルタ-分解点検	フィルタ-F ₁ の分解点検, エレメント交換
	冷却水ポンプ分解点検	WP _{8,1,8,2} , WP _{8,3} の分解点検, 試運転
	真空ポンプ分解点検	VP _{5,1,5,2} の分解点検, 試運転
	冷凍機定期点検	冷媒漏洩試験, 計測制御系作動試験
	加熱器電極部改造	H _{3,2} の電極冷却管を新方式に改造
	加熱器冷却水系改造	H ₂ 電極水冷管を新方式(流路大)に改造
	不純物濃度測定装置配管系増設	キャリアガス及び標準ガスの供給配管系を増設

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (5/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 26	T ₁ -M試験体組替	クロスフロー試験用ダウエルピンの調整、T/C取付け
	水分計の校正	標準ガス(He+H ₂ O)により4台の水分計の校正
	冷却水系改造	M ₁ 系冷却水配管及び弁の口径を大きくした
	冷却器C ₃₁ 開放点検	除熱性能低下の原因調査
No. 27	フィルタ-分解点検	F ₁ , F _{21, 22} の分解点検、エレメント交換
	冷却塔送風機分解点検	CF _{81, 82} の送風機の分解点検、試運転
	T ₂ 試験部内部点検	中心領域ヒータ-地絡の原因調査
	水分計の校正	標準ガス(He+H ₂ O)により4台の水分計の校正
No. 28	HENDEL架台の改造	点検用足場、階段の設置
	高圧ガス製造設備定期自主検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	ポンベ室外壁新設工事	潮風によるポンベ腐食を防ぐため新設した
	供給水配管更新工事	経年劣化による漏れがあったので更新した
	HENDEL棟東側外気取入口更新	潮風による腐食があり更新した
	ヘリウムリーク確認試験	主要機器のHe用ディテクターによる漏洩試験
	ガス循環機B ₂₁ 分解点検	フィールドバランスによりアンバランス量を修正した
	フィルタ-分解点検	F _{21, 22} の分解点検、エレメント交換
No. 29	主圧縮機高圧吐出弁開放点検	ヘリウムリーク試験後開放し、シール部の点検を行う
	T _{1-S} 試験体組替	実規模模擬燃料棒(34mm型)への組替
	冷却塔ポンプ室実験盤新設工事	作業用の電源を確保するため実験盤を新設
	加圧積分法によるヘリウムリーク試験	B _{23, 24} 及びF _{21, 22} のフランジ部について実施
No. 30	自動ガスクロマトグラフの校正・点検	機器点検、カラムエージング、標準ガスによる校正
	ガス循環機分解点検	B _{23, 24} のケーシング寸法測定、ガスケット交換
	圧縮機定期点検	B _{41, 42} , B _{51, 52} , B _{61, 62} の分解点検、試運転
No. 30	バーナー点検修理	バーナー6台の分解点検、1台はプローブ交換
	冷凍機定期点検	冷媒漏洩試験、計測制御系作動試験
	冷却器及び混合タンク分解点検	C ₂ , C ₃₁ , MT ₂₁ の分解点検、ガスケット交換
	ガス循環機B21分解点検	ガスケットの調査及び交換
	真空ポンプ分解点検	VP ₃₂ 分解点検、部品交換、試運転
	フィルタ-分解点検	F ₁ , F ₄ , F ₅₃ , F ₅₅ ~F ₅₈ の分解点検、エレメント交換
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	T _{1-S} 試験体組替	中温試験用高性能模擬燃料棒へ組替
No. 30	T _{1-M} 試験体組替	クロスフロー試験用模擬プロックのギヤップ調整
	高圧ガス製造施設の事前検査、保安検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	高圧ガス製造施設の製造設置許可等履歴	過去の申請書類、検査書類等の整理
	高速往復動圧縮機の設置	磁気軸受式圧縮機を新MP系へ設置

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (6/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 31	フィルタ-分解点検	F ₂₁ , F ₂₂ , F ₄ , F ₅₁ , F ₅₂ , F ₅₇ , F ₅₈ の分解点検 エレメント交換
	精製装置用真空断熱配管の改造	チャコールベッド廻りの真空断熱管増設
	高圧ガス配管の改造(変更申請)	A系及びMu系の配管と弁を新規にした
No. 32	高圧ガス製造設備定期自主検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	高圧ガス配管改造(変更申請)	A系及びMu系の配管と弁を新規にした
	冷却器C ₃₂ の分解点検	運転中の異音の原因究明及び化学洗浄
	架台の改造	M ₂ 及びT ₂ の点検用架台を増設
	主圧縮機の分解点検及び改造	B ₄₁ , B ₄₂ の分解点検及び冷却水配管更新
	加圧水循環ポンプ分解点検	WP ₃₁ , WP ₃₂ のカニカルシル交換、試運転
	フィルタ-分解点検	F ₄ , F ₅₃ , F ₅₅ ~F ₅₇ の分解点検、エレメント交換
	In系空気槽マホル蓋板改造	蓋板にOリング' はみ出し防止用ガード' を設けた
No. 33	T ₁ -S試験体組替	表面形状の異なる高性能模擬燃料棒へ組替
	ガス循環機ヘリウム漏洩原因調査	外部(ケーシング、フランジ、ボルト等)にT/Cを取付
	圧縮機の不具合内容と措置について	1987年~1990年の間に発生した不具合と措置について総括的に整理した
No. 34	ヘリウムガス漏洩調査	No. 28サイクル以降の漏洩について総括的整理
	フィルタ-分解点検	F ₁ , F ₄ , F ₅₁ ~F ₅₃ , F ₅₅ ~F ₅₈ の分解点検 エレメント交換
	圧縮機分解点検	B ₅₁ , B ₅₂ , B ₆₁ , B ₆₂ の分解点検、試運転
	冷凍機点検	冷媒漏洩試験、計測制御系作動試験
	圧縮機用冷却水配管更新	B ₅₁ , B ₅₂ の冷却水配管をSUS管に更新
	Uc系ポンプ分解点検	WP ₈₁ , WP ₈₂ , WP ₈₃ , CP ₈ の分解点検、試運転
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	T ₁ -S試験体組替	表面形状の異なる高性能模擬燃料棒へ組替
	高圧ガス製造施設の事前検査、保安検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	T ₂ 内部点検補修	ヒータ地絡原因調査、ヒータ回路周辺の清掃
No. 35	H ₂ 開放点検	ヒータ地絡原因調査、ヒータ回路周辺の清掃
	冷却器C ₃₂ 伝熱管肉厚測定	水室開放、機械洗浄、UT法による肉厚測定
	フィルタ-分解点検	F ₂₁ , F ₂₂ , F ₄ , F ₅₁ ~F ₅₃ , F ₅₅ ~F ₅₈ の分解点検 エレメント交換
	真空ポンプ分解点検	VP ₄ , VP ₁₁ ~ ₁₂ , VP ₂₁ ~ ₂₂ , VP ₃₁ ~ ₃₂ の分解点検、試運転
No. 36	ヘリウム弁用ローナフ交換	M ₂ ループ用弁21台について実施
	T ₂ 試験部電部極修理	ヘリウムガス漏洩の原因調査、Oリング' 交換
	冷却水系の改造	F801用導圧管の位置を真上から真横にした
	真空ポンプ及び真空計の設置	Mu系膨張タンク用真空ポンプ設置、Mp系及びT ₁ 系真空ポンプに真空計を増設

Table 4.1 Preparation works for operation of each cycle (mechanical equipment) (7/7)

サイクル	作業名称	内 容
No. 36	高圧ガス製造設備定期自主検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	圧縮機分解点検	B ₄₁ , B ₄₂ の分解点検、試運転
	冷却塔改修	木製歩廊の張替、軸流送風機の分解点検
	T ₁ -S試験体組替	表面形状の異なる高性能模擬燃料棒へ組替
	フィルタ-分解点検	F ₄ , F ₅₁ , F ₅₃ , F ₅₅ , F ₅₇ の点検、リメント交換
No. 37	フィルタ-分解点検	F ₁ , F ₄ , F ₅₁ ～F ₅₃ , F ₅₅ ～F ₅₈ の分解点検、リメント交換
	真空ポンプ分解点検	Mp系VP ₅₁ , VP ₅₂ の分解点検、試運転
	圧縮機分解点検	B ₅₁ , B ₅₂ , B ₆₁ , B ₆₂ の分解点検、試運転
	冷凍機点検	冷媒漏洩試験、計測制御系作動試験
	Mp系弁の改造	SA弁6台のスプリング強化、5atgに空気圧設定
No. 38	ヘリウム弁補修	LA501, SM220, SM212, SA510, SA521, XP4081について弁の摺合、SM220はトリム一式交換
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	T ₁ -S試験体組替	表面形状の異なる高性能模擬燃料棒へ組替
	高圧ガス製造施設の事前検査、保安検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	新精製系の改造	液体空素供給配管に止弁及び安全弁を設置
	H ₂ 加熱器電極冷却設備点検	オイルクーラー点検、オイルクーラー清掃、アリーバー弁点検
No. 39	フィルタ-分解点検	F ₂₁ , F ₂₂ , F ₄ , F ₅₂ , F ₅₆ , F ₅₈ の分解点検、リメント交換
	M ₂ 及びMp系のヘリウム弁補修	電動弁9台、空操弁5台、手動弁3台についてヘリウム交換及び弁部の摺り合せ
	水系ポンプの分解点検	補給水ポンプ4台、薬注ポンプ4台、原水ポンプ2台の分解点検、試運転
No. 40	フィルタ-分解点検	F ₁ , F ₄ の分解点検、リメント交換
	第一種圧力容器性能検査	M+A, T ₁ 系圧力容器の開放検査及び各種検査
	T ₁ -S試験体組替	表面形状の異なる高性能模擬燃料棒へ組替
	高圧ガス製造施設の事前検査、保安検査	圧力計検査、安全弁検査、気密試験等
	真空ラインリーフ弁分解点検	分解点検、清掃、オーリング交換

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (1/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 1	発信器零点校正	圧力・差圧発信器の零点校正
	電動弁閉リミットアンサーの不良修理	SM508の閉信号トルクスイッチの調整
	加熱器H _{3,2} エレメント温度熱電対切替	PR熱電対からW/Re熱電対に切替
	加熱器H _{3,1} 不平衡電流計の修理	工場に持ち出し修理
	加熱機H _{3,2} 地絡継電器用CT交換	CT比1/1から5/1に変更
	循環機B ₁ 起動準備完了信号を出力する	周波数検出用リレーの設定値の変更
No. 2	集中型及び分散型のソフトウェア変更	集中型SEQ FiFの変更 分散型DDCプログラムの変更
	加熱器H _{3,1} 電極フランジ換装	水冷電極フランジの材質をSUS304に変更
	高調波フィルタ改造	第11次専用フィルタの交換
	循環機B ₁ 入力制御装置改造	機器の交換とインバータ制御装置の調整
	加熱器H _{3,2} 入力制御装置冷却器取り替え	変圧器のオイルクーラーの取り替え
No. 3	B ₃ 回転数制御装置増設によるソフト改造	集中型ソフトウェア追加及び変更 分散型ソフトウェア追加及び変更 ハードウェア追加及び改造
	加熱器H _{3,2} 地絡調査	ヒータ-エレメント抵抗測定及び絶縁抵抗測定
	計測制御系定期点検	CPU、DDC及び周辺機器の点検
	電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	M _p 系温度調節盤定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
	通信設備定期点検	ページング等の主增幅器回路点検及び調整
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	ガス循環機回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	ガス循環機B _{2,4} 増設によるソフト改造	集中型ソフトウェア追加及び変更 分散型ソフトウェア追加及び変更 ハードウェア追加及び改造
	運転データ収録システムの開発	ソフトウェアの開発
	試験部T ₁ 建設に伴う計測制御系改造	集中型ソフトウェア追加及び変更 分散型ソフトウェア追加及び変更 ハードウェア追加及び改造
	温度比較検定装置の点検整備	熱電対の検定校正
	加熱器H _{3,2} 出力電圧アンバランスの調整	
	冷却水ポンプWP _{8,2} の負荷電流指示不良修理	
	温度比較検定装置の点検整備	

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (2/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 3	計測制御系ソフトウェア改善	
	加熱器H _{3,2} 変圧器中性点接地抵抗器の交換	
	ページング設備増設及び音響改善	
	M+Aループ架台照明新設	
No. 4	回転数制御装置振動測定	振動の原因調査及び振動測定
No. 5	ヘリウムガス加熱器の電気絶縁対策	絶縁抵抗回復のための検討
	T ₁ 補償ヒーター電力制御不良調査	サイリスタ盤の制御方法の変更
No. 6	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	自動ガスクロマトグラフ定期点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	電気設備定期点検 (M+A)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCP装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主增幅器回路点検及び調整
	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	処理機能部及び周辺機器等の点検
	YEWPACKのソフト変更等	インターロック等の追加及びシーケンステップの修正
	CENTUM (COPS) の増設	YEWPACKにCENTUMを接続し、ソフトウェア追加
	電気設備定期点検 (T ₁)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ -S補償ヒーター制御性改良	電源系統等の配線チェック及び調査
No. 7	誘導電圧調整器 (IVR) の改造	駆動を誘導電動機から直流電動機に変更
	差圧発信器のレンジ変更	測定レンジ及び零点の調整変更
	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
No. 8	計測器校正試験	直流標準電圧発生器等の校正
	T ₁ 模擬燃料棒・補償ヒーターの抵抗測定	ヒータ等の抵抗及び絶縁抵抗測定
No. 8	循環機B ₁ 調査	加速度検出器等の設置及び測定等
No. 9	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	電気設備定期点検 (M+A)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
No. 10	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主增幅器回路点検及び調整

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (3/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 9	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
No. 10	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターズステーション及びデータロガー等の点検
	標準計測器の校正	直流校正装置及び標準圧力発生器等の点検
No. 11	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	回転数制御装置振動対策	振動測定及びバ'キックバランスの調整
	T ₁ 試験部制御装置の増設	フィールドコントロールユニット等の増設
	ガス循環機振動特性試験準備	データレコーダー入力信号の調整及びチェック
No. 12	T ₁ -M流量配分計測用微差圧計の設置	微差圧発信器の設置
	M+A計測系のスキャナ設置	スキャナに現場アナログ入力の配線をした
	T ₁ 試験計装用スキャナ更新	データロガーを高速スキャナに更新した
	圧力制御試験準備	差圧計の設置及び制御ループの検討
	T ₁ 試験部計測制御系計測点変更	CENTUMへの温度入力追加等
	ガス循環機特殊運転制御準備	回転数制御のプログラミング開発と模擬回路設置
	M ₂ -I変則運転準備	計装制御系の組替え及びインターロック等の変更
No. 13	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	電気設備定期点検 (M+A)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M _p 系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターズステーション及びデータロガー等の点検
	運転データ収録システムの改善	収録システム及び収録方法の変更
	運転時間積算計測装置取付	運転時間積算計測装置を設置
	T ₁ 差圧発信器の零点校正	差圧発信器の零点校正
	T ₁ 模擬燃棒、補償ヒーターの抵抗測定	電気抵抗及び絶縁抵抗測定
No. 15	高調波フィルター保護継電器交換	保護継電器の交換
	T ₁ 微差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	電気設備定期点検 (T ₁)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
No. 16	標準計測器の校正	直流校正装置及び標準圧力発生器等の点検
	ガス循環機計装フランジの整備	計装フランジの作製と取付
	T ₁ 微差圧発信器の整備	微差圧発信器の仮取付及びレコーダーの設置
No. 17	T ₁ -M自然循環試験準備	ソフトウェアの開発及びインターロックの修正

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (4/9)

サイクル	作業名称	内 容
N.O. 18	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	電気設備定期点検 (M+A)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	通信設備定期点検	ペーパー等の主增幅器回路点検及び調整
	高圧ケーブル及びVCBシャンクションの改修	加熱器H ₃₂ 用の二次側ケーブルを仮移設した
	循環機B ₂₁ の検出器取付	光回転計、加速度計及びロードセルの取付
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターステーション及びデータロガー等の点検
N.O. 19	T ₂ 試験部領域別ヒーター電極部補修	絶縁材(アルミナ碍子)を取付
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	回転数制御装置振動対策	振動測定及びダイナミックバランスの調整
	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターステーション及びデータロガー等の点検
	T ₁ 微差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	電気設備定期点検 (T ₁)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
N.O. 20	流量調節弁開度急変原因の調査	DDCの演算プログラム(POL)の見直し及び修正
	標準計測器の校正	直流校正装置及び標準圧力発生器等の点検
	T ₂ 中心領域ヒーター地絡原因調査	絶縁抵抗測定及び耐熱圧試験等
	T ₂ 領域別ヒーターの電流表示追加	CENTUMのソフトウェア変更及び信号ケーブル配線
	T ₂ 中心領域流量調節装置開度指示異常調査	開閉動作中の接点出力の調査
N.O. 21	加熱器H ₂ , H ₃₂ 用変圧器のタップ切替	変圧器の二次電圧等の変更
N.O. 22	加熱器H ₃₂ ヒーター元素交換	ヒーター元素及びリードバー等の交換
	Uc系冷却水流量低トリップ条件等追加	DDCの演算プログラム(POL)の見直し及び修正
	運転中の不純物濃度管理の検討	不純物濃度管理の基準を設定
	加熱器H ₃₂ マンホール開放	ヒーター元素の絶縁抵抗測定等
N.O. 22	Heカードル圧力計測用配線作業	圧力検出器の設置及び信号線の配線
	T ₁ 微差圧発信器の増設	高性能微差圧発信器の設置
	圧力・差圧発信器定期点検 (Mp及びT ₁)	零点調整及びスパン調整
	圧力・差圧発信器定期点検 (M+A及びT ₁)	零点調整及びスパン調整
	高圧・低圧配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ ・T ₂ 電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (5/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 22	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターステーション及びデータカーフ等の点検
	通信設備定期点検	ページング等の主増幅器回路点検及び調整
	分電盤増設	分電盤の増設
	加熱器H ₃₂ 地絡調査	上部鏡開放、ヒートエレメント抵抗測定、上部リードパッキン組み付け状態及びトウ確認等
No. 23	電気計装改修	安全防護盤記録計等の修理
	加熱器H ₃₂ の修理	ヒータメント等の組立及び熱電対等の追加
	電源装置の改造	パワーセンタ-及びコントロールセンタ-の増設
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₂)	オペレーターステーション等の点検
	M+A+T ₁ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₂ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
No. 24	HENDEL変電所力率改善コンデンサ増設	力率改善用コンデンサーの増設
	不純物濃度測定装置増設	ガスクロマトグラフ及びインゲーラー等の増設
	商用系停電試験	非常用発電機の起動確認及び異常処理SEQが実行する事等の確認
	B ₁ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
No. 25	H ₃₂ 入力制御装置改造	中性点電圧及び不平衡電流検出器の改造
	真空ポンプ用冷却器の電源盤設置	電源盤の設置
	加熱器H ₃₂ 復旧作業	ヒータメント及びリードパッキン等の組立 各相電気抵抗測定
No. 26	B ₂ ・B ₃ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	H ₃₂ 開放点検	1組のヒータメントを交換組立
	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	高圧・低压配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ ・T ₂ 電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (6/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 26	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターステーション及びデータロガー等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
No. 27	ガス循環機B ₂₁ ロードセルピボット取付	ロードセルピボットの取付及び空気中作動試験
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	B ₁ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₂)	オペレーターステーション等の点検
	M+A+T ₁ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₂ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	T ₁ 微差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
No. 28	T ₂ 試験部IVR (2IR554) 点検	リミットスイッチ等の調整
	HENDEL照明の改造	架台照明の増設及び移設
	ガス循環機計装フランジの取付	計装フランジの取付
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	ヘリウムガス精製装置用自動制御装置の増設	オペレーターステーション及び制御盤等の設置
	不純物濃度測定装置の増設	ガスクロマトグラフ及びバイオゲーネータ等の増設
	B ₃ MGトリップ現象の調査	温度指示計及び警報設定器等の調査
No. 29	精製系用水分計の増設	水分計及び記録計の増設
	無停電電源設備改修工事	変圧器、分電盤等の増設及び改修等
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	B ₂ ・B ₃ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
No. 30	高圧・低圧配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ ・T ₂ 電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	精製装置制御盤定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主増幅器回路点検及び調整

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (7/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 30	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターズテーション及びデータロガー等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	加熱器起動条件の変更	デジタル入力の追加及びソフトウェアの変更
	系統ハム量とリケ量の計算プログラム開発	計算プログラムの開発及びCRT表示
	精製装置用制御装置の処置事項の検討	問題点の処理及び検討
No. 31	B ₁ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₂)	オペレーターズテーション等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M+Aアナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₂ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₁ 微差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	M+A計測制御システムオーバーホール	システム内の部品の交換等
	実験用電源設備新設	変圧器の新設及び実験盤の新設
	不純物測定装置の改造	ガスクロマトグラフ及び水分計の設置
No. 32	CCTV監視装置の改造	テレビカメラの増設
	B ₂ ・B ₃ 回転数制御装置点検オーバーホール	M-Gセット及び現場制御盤等のオーバーホール
	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	高圧・低圧配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ ・T ₂ 電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M _D 系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	精製装置制御盤定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主增幅器回路点検及び調整
No. 33	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターズテーション及びデータロガー等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	DDCソフトウェア変更	分散型ソフトウェアの変更
	計装用空気圧縮気B ₆₁ , B ₆₂ のシーケンスの変更	現場制御盤のシーケンス変更
	ハムガス精製装置及びT ₁ 架台照明増設	蛍光灯等の架台照明の増設

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (8/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 35	B ₁ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₂)	オペレーターズステーション等の点検
	加熱器入力制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M+A+T ₁ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₁ ・T ₂ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₁ 微差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	M+A計測制御システムオーバーホール	システム内の部品の交換等
	直流校正装置他標準計測器校正試験	標準計測機器等の校正試験
	カードル監視用グラフィック盤の設置	ヘリウムカードル用グラフィック盤を設置
	監視警報装置の設置	監視警報盤の設置
No. 36	電動機の分解点検	HENDELのモーターの分解点検
	冷却器C ₃₂ 伝熱管肉厚測定	超音波肉厚測定の実施
No. 37	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
No. 38	加熱器H ₁ 入力制御装置セイリスタック交換	サイリスタスタックの交換等
	CVCF装置用アルカリ蓄電池液交換	蓄電池の液替え活性化等
	加熱器H ₃₂ 電極点検	電極の抵抗測定及び締付ナットの増締め等
	B ₂ ・B ₃ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	高圧・低圧配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	T ₁ ・T ₂ 電気設備定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	Mp系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	精製装置制御盤定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
No. 39	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主増幅器回路点検及び調整
	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	計測制御系定期点検 (T ₁)	オペレーターズステーション及びデータターミナル等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラミングの動作確認
	水分計の点検	スパン及び測定感度等の調整
	T ₂ 試験部領域別ヒータのブスバー補修	ブスバー指示柱補修等
	B ₂ ・B ₃ 回転数制御装置定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	計測制御系定期点検 (T ₂)	オペレーターズステーション等の点検

Table 4.2 Preparation works for operation of each cycle (instrumentation control system) (9/9)

サイクル	作業名称	内 容
No. 39	加熱器入力制御装置定期点検 (H ₁ , H ₃₁ , H ₃₂)	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M+A+T ₁ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	T ₁ ・T ₂ アナログ計装計器定期点検	変換器、調節計、操作機器等の調整
	M+A計測制御システムオーバーホール	システム内の部品の交換等
	直流校正装置他標準計測器校正試験	標準計測機器等の校正試験
	地震計定期点検	接点感度検定及び動作試験
No. 40	圧力・差圧発信器定期点検	零点調整及びスパン調整
	高圧・低圧配電盤点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	M _p 系温度調整電力盤	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	精製装置制御盤定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	CVCF装置定期点検	制御盤シーケンスチェック及び蓄電池電圧測定等
	コントロールセンター定期点検	シーケンスチェック及び絶縁抵抗測定等
	通信設備定期点検	ページング等の主増幅器回路点検及び調整
	計測制御系定期点検 (M+A)	CPU、DDC及び周辺機器等の点検
	自動ガスクロマトグラフの点検	検出器の調整及びシーケンスプログラムの動作確認
	水分計の点検	スパン及び測定感度等の調整

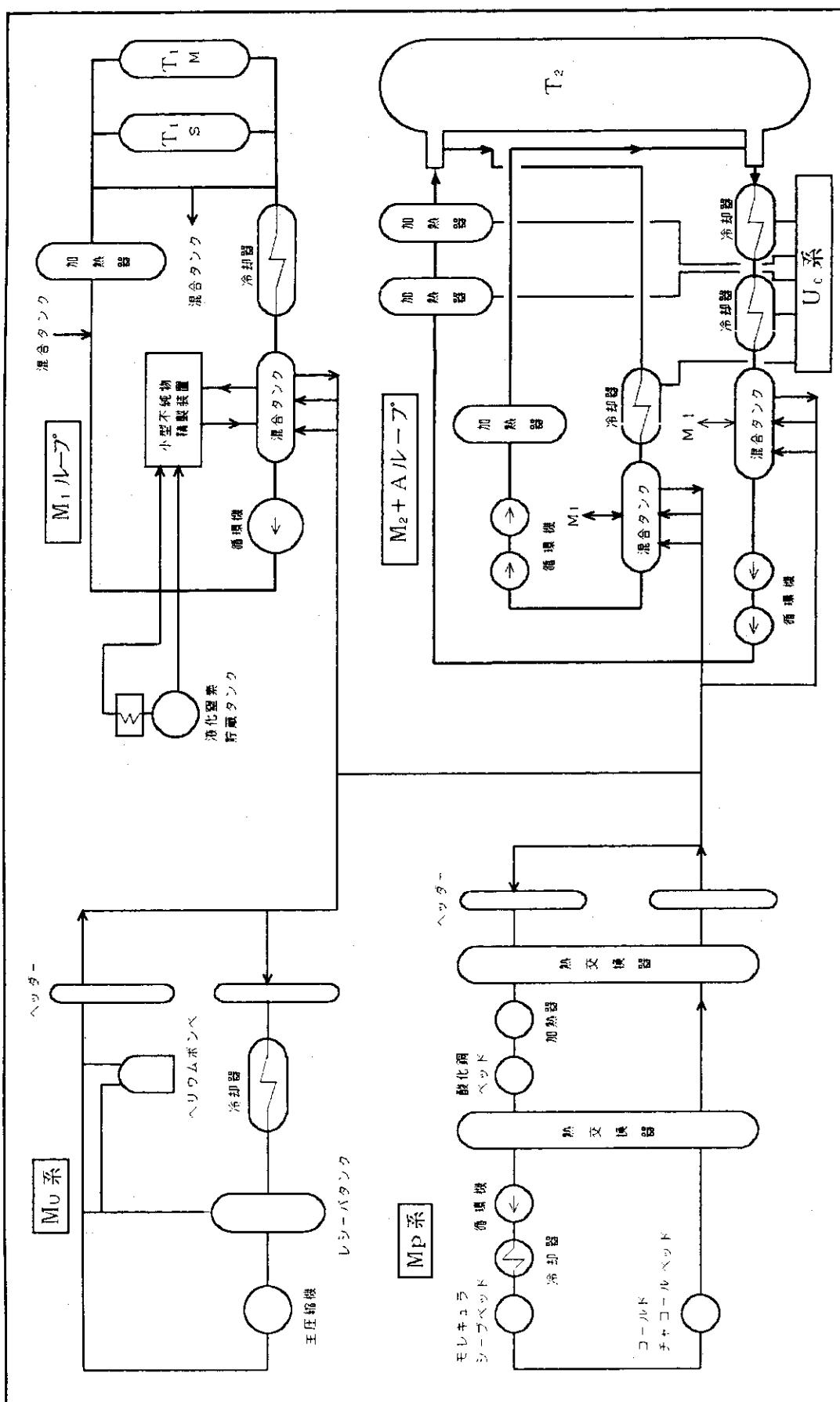


Fig. 2.1 Basic system diagram of the HENDEL

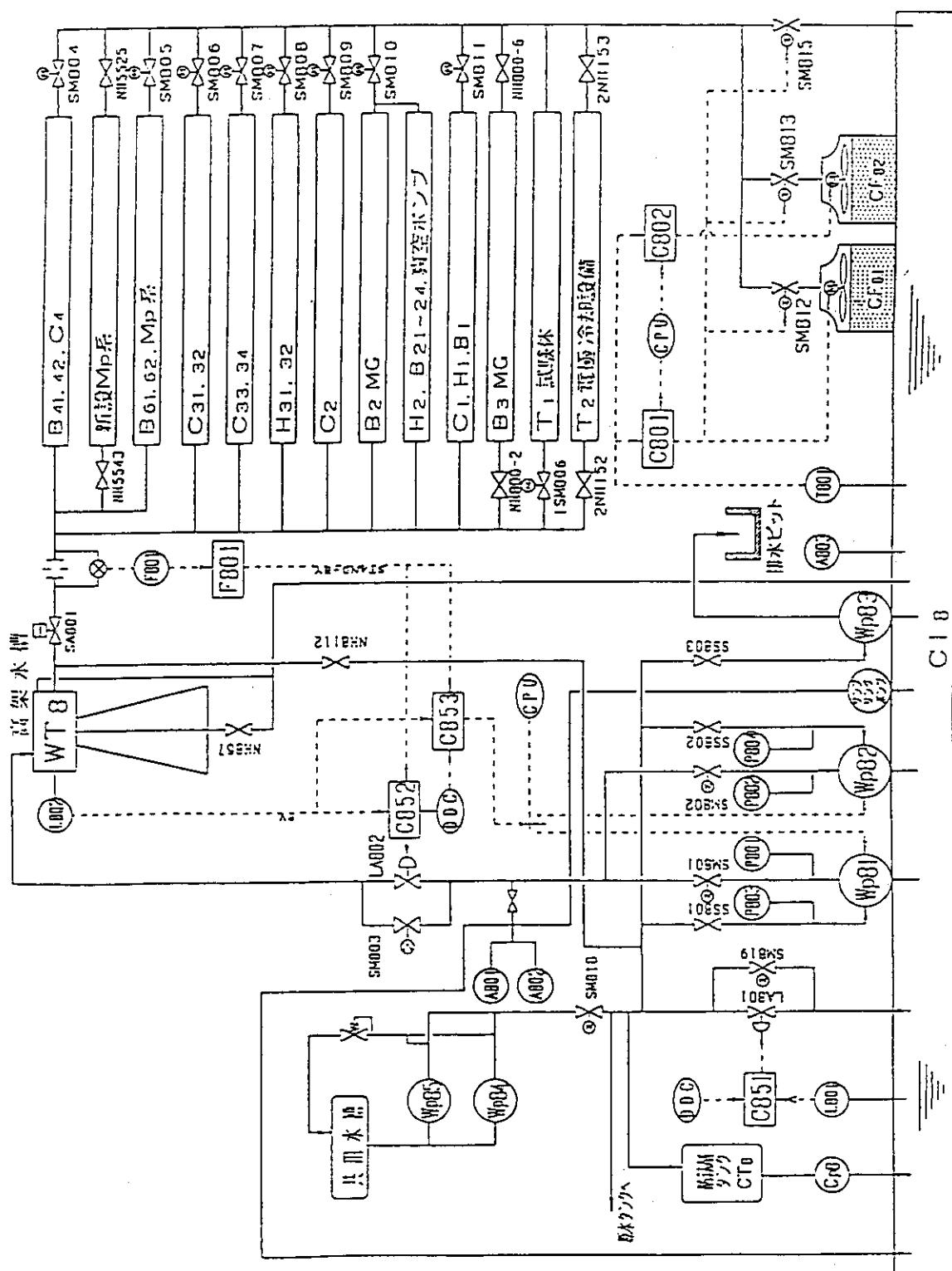


Fig. 2.2 Cooling water system

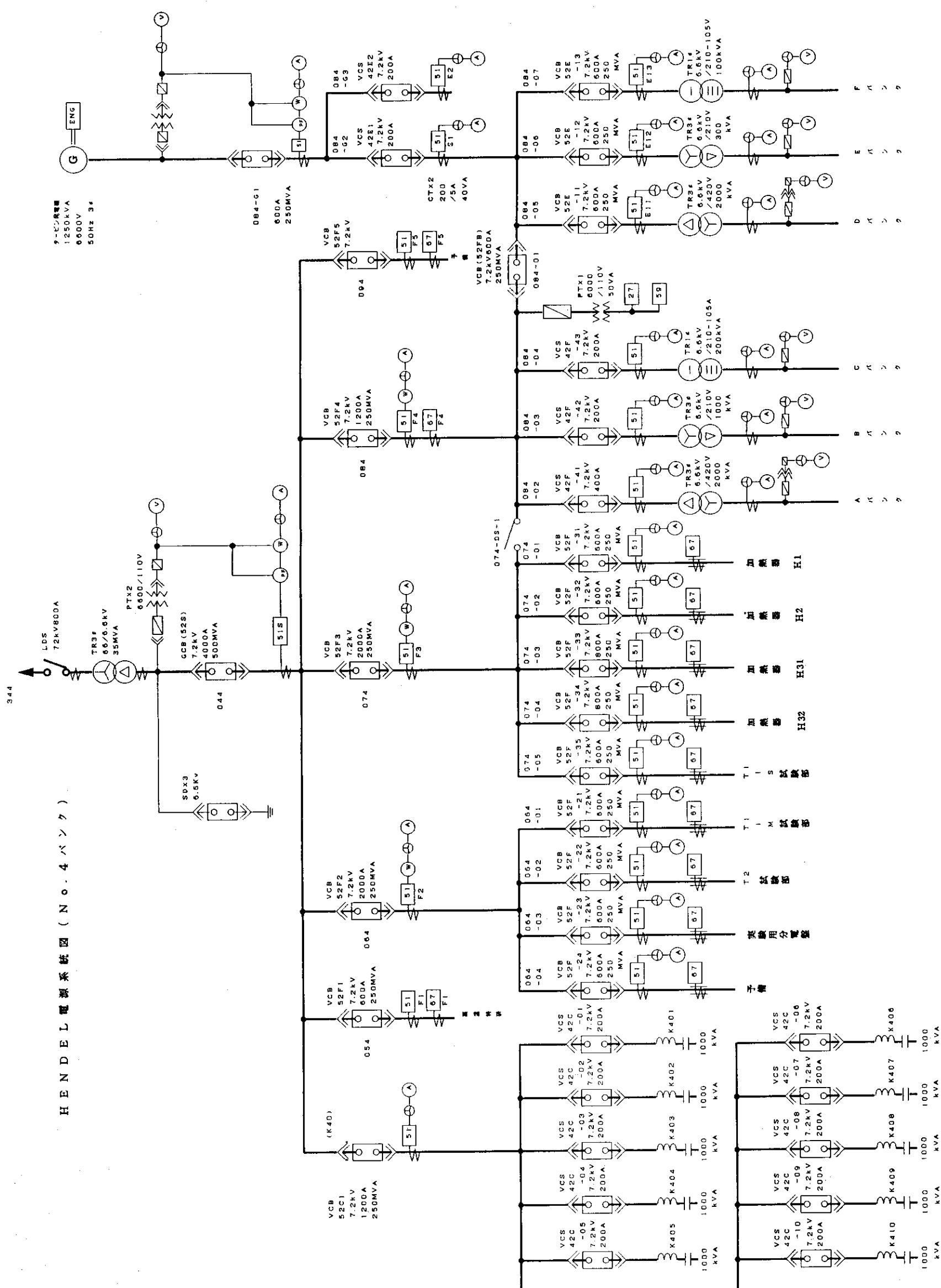


Fig. 2.3 Power supply system

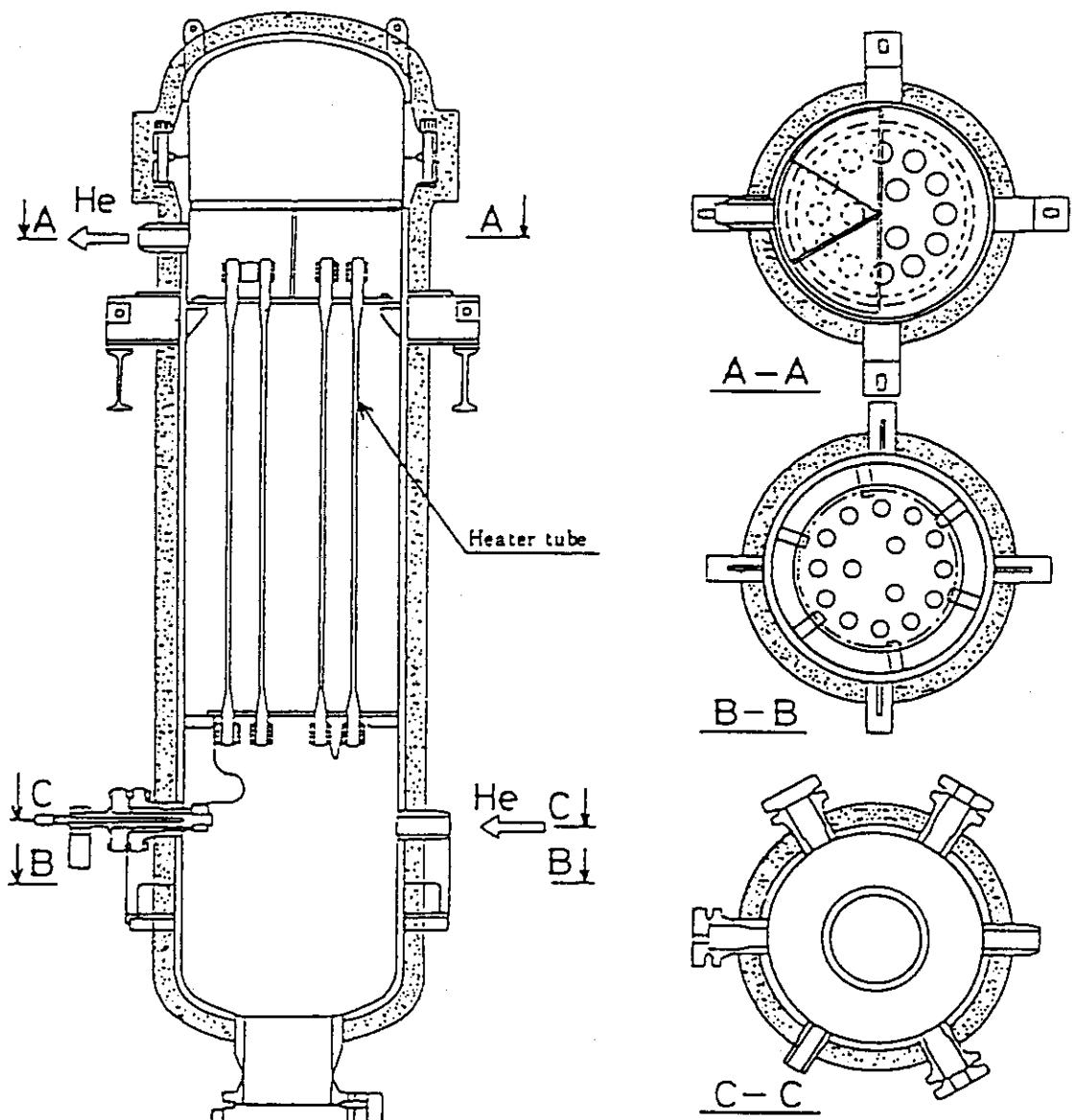
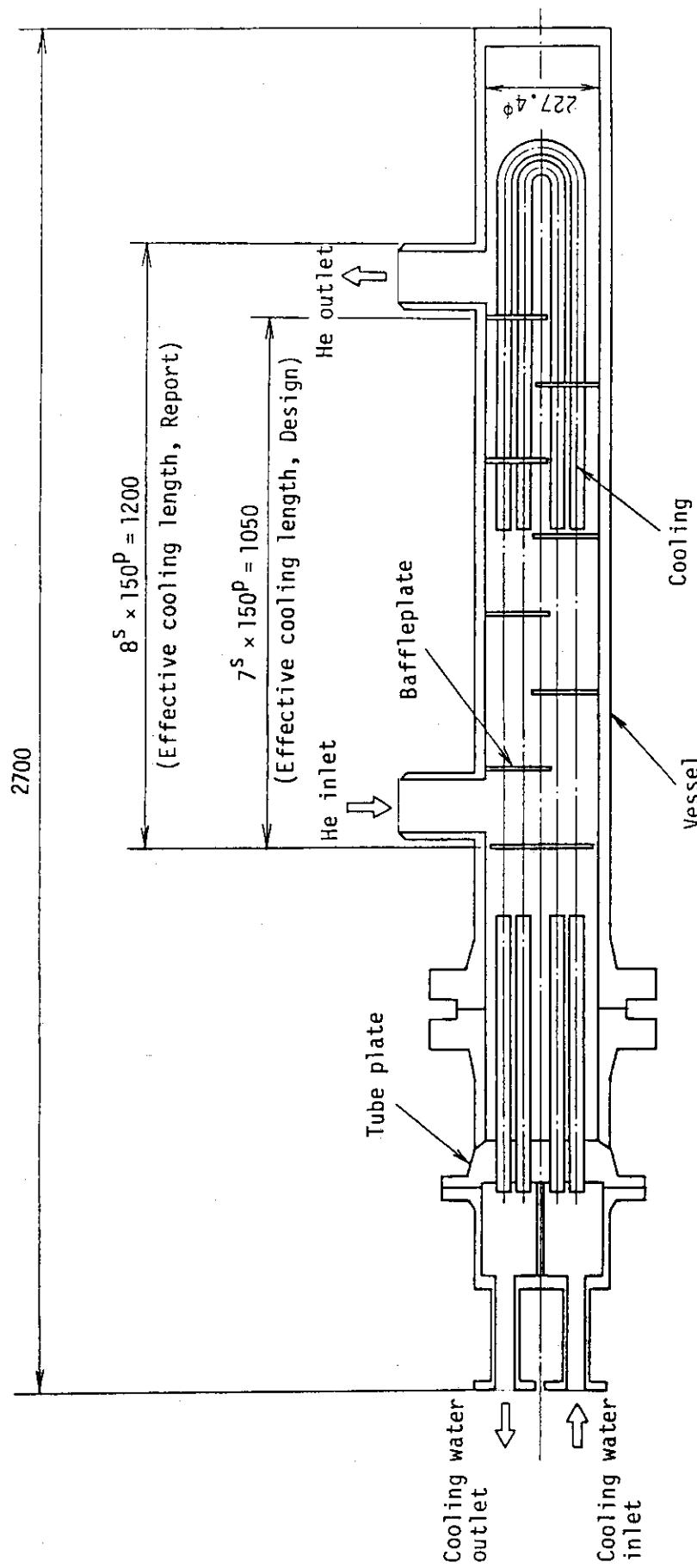
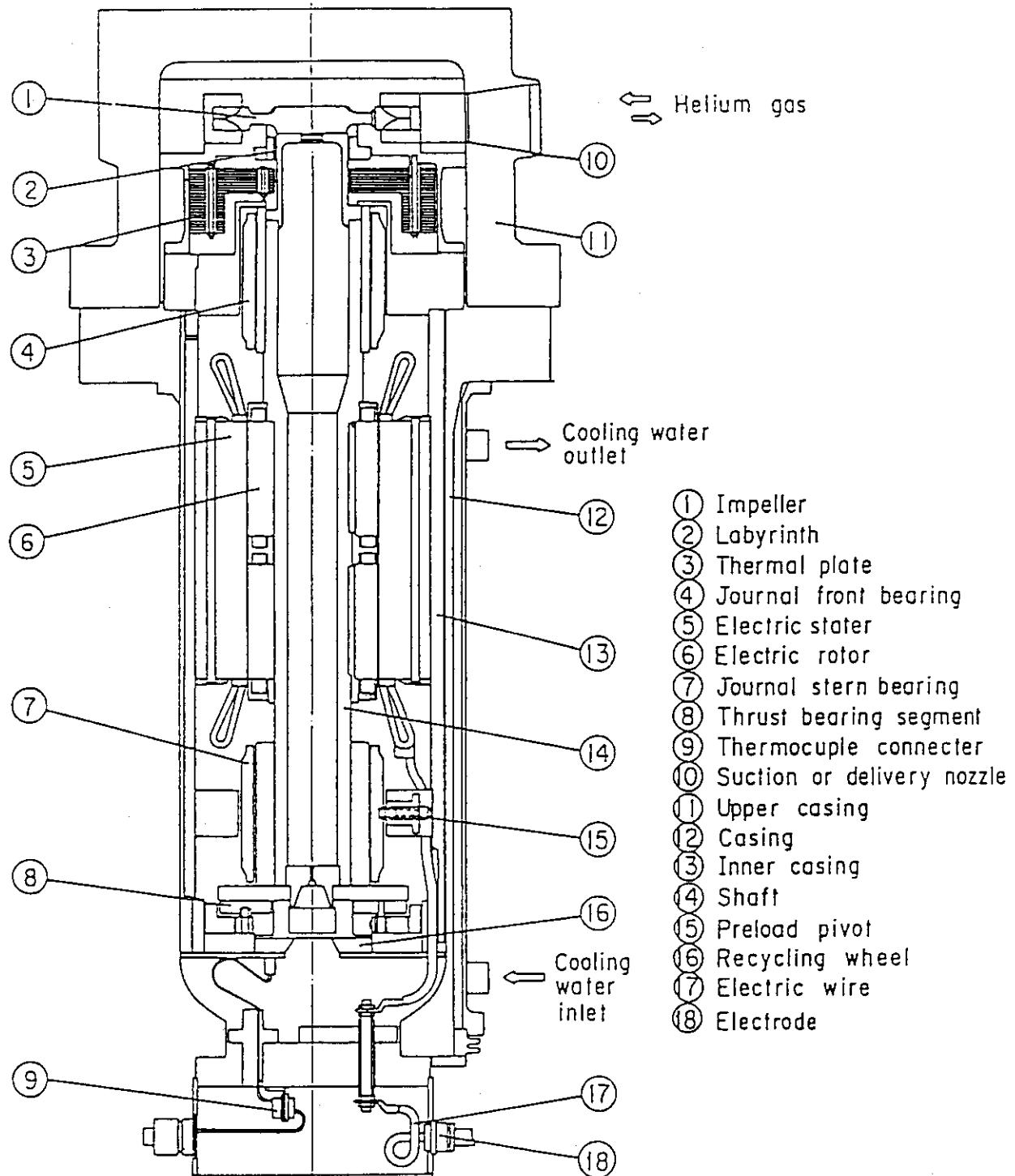
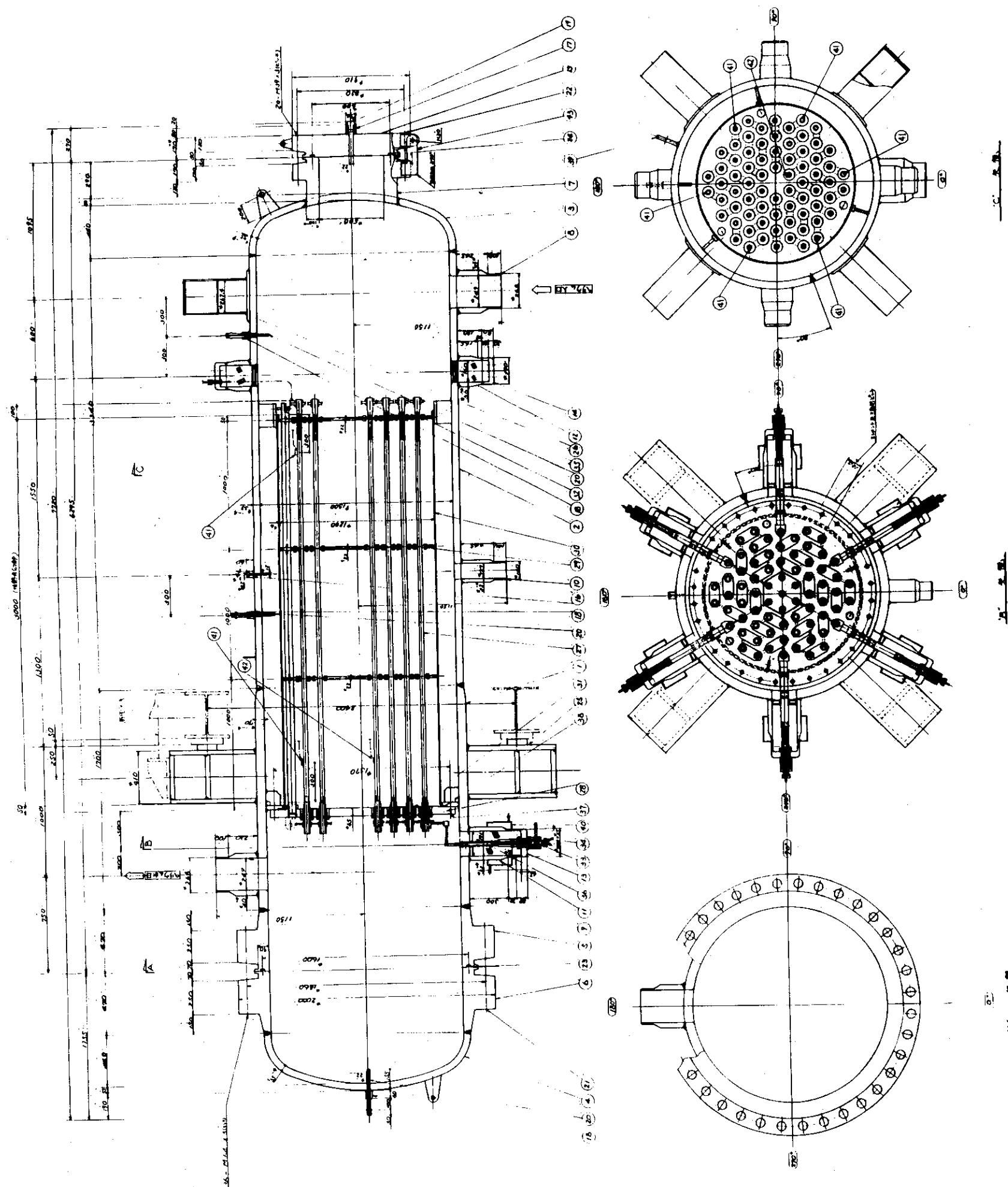
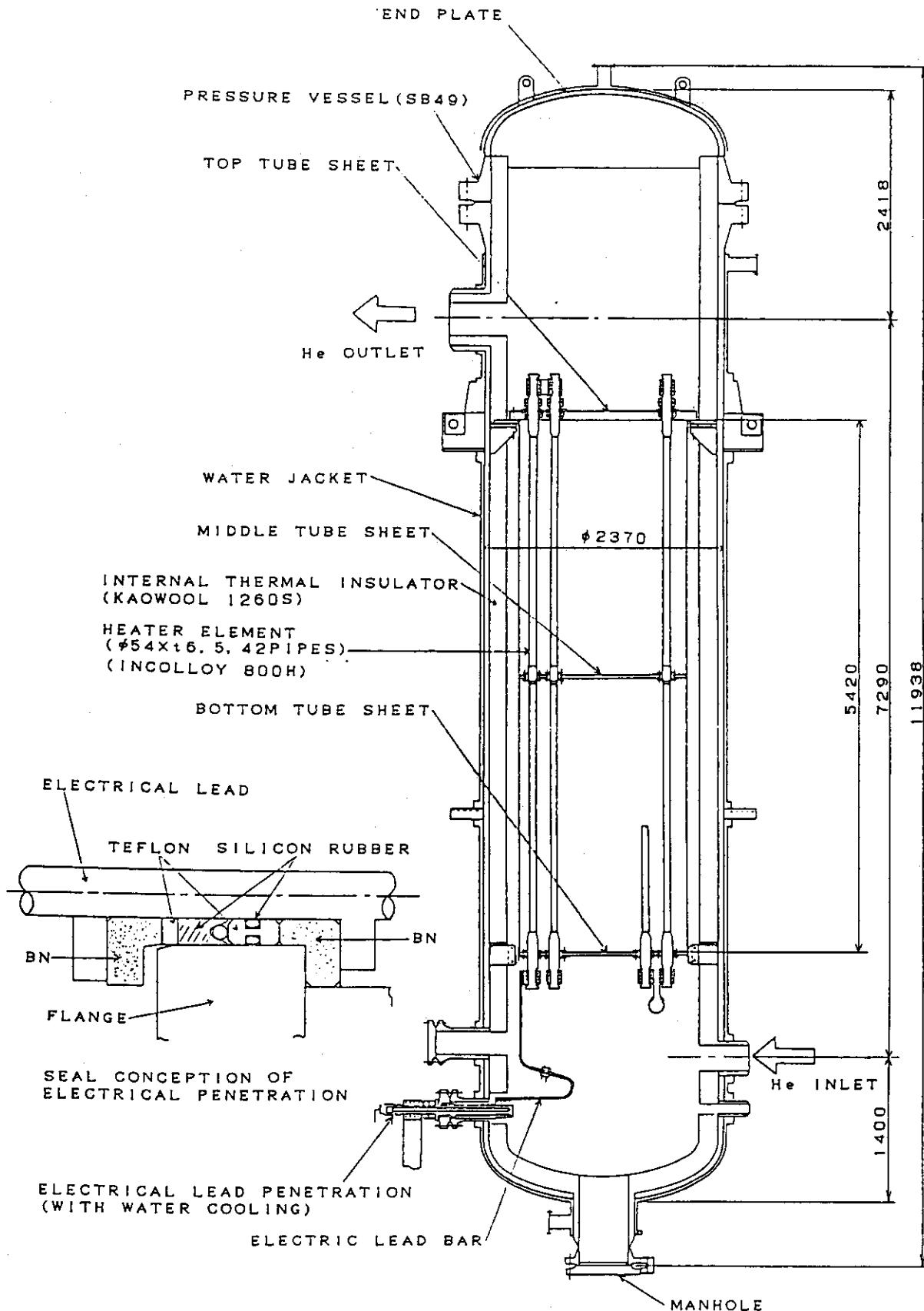


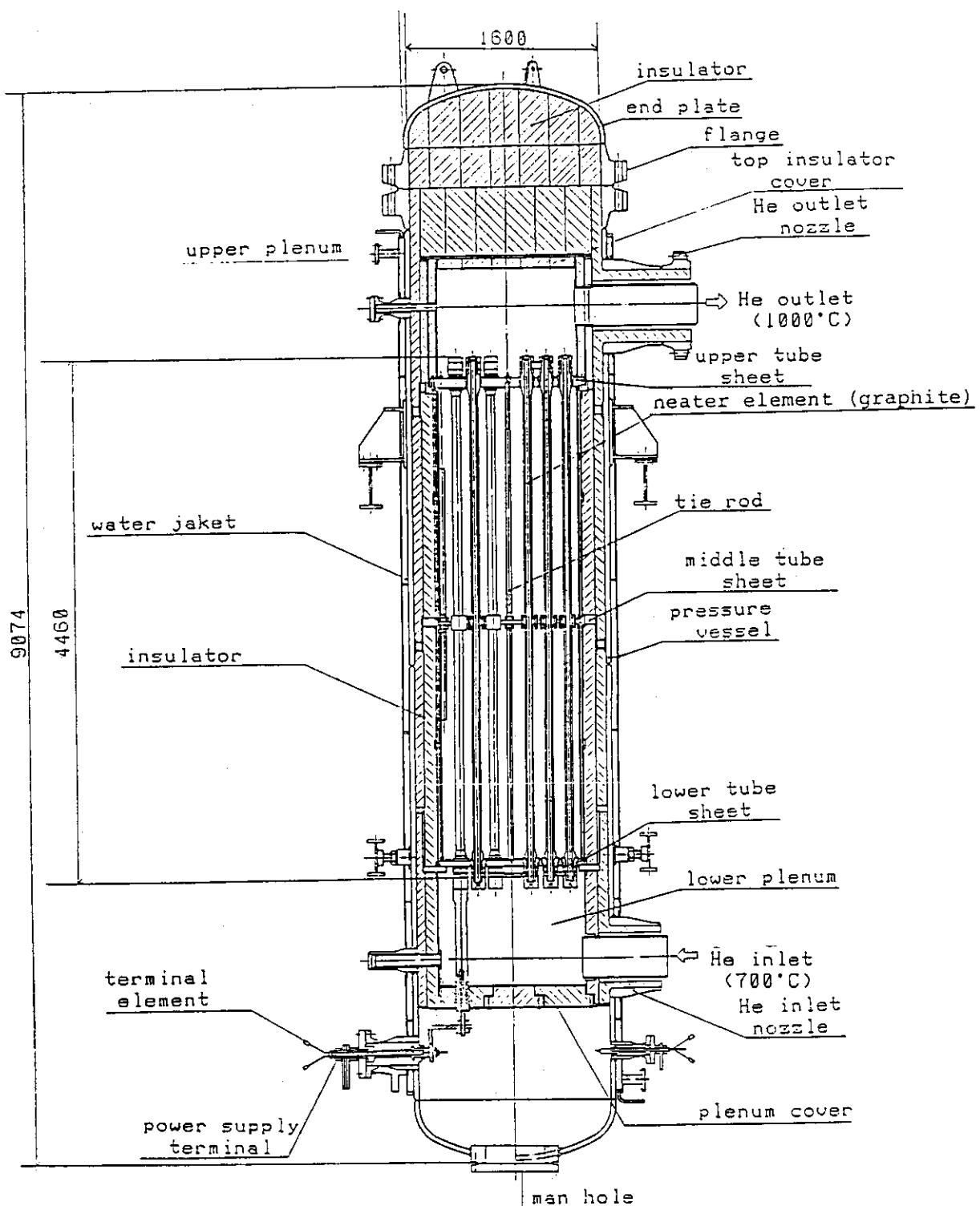
Fig. 2.4 Structure of helium gas heater (H_1)

Fig. 2.5 Structure of helium gas cooler (C₁)

Fig. 2.6 Structure of helium gas circulator (B₁)

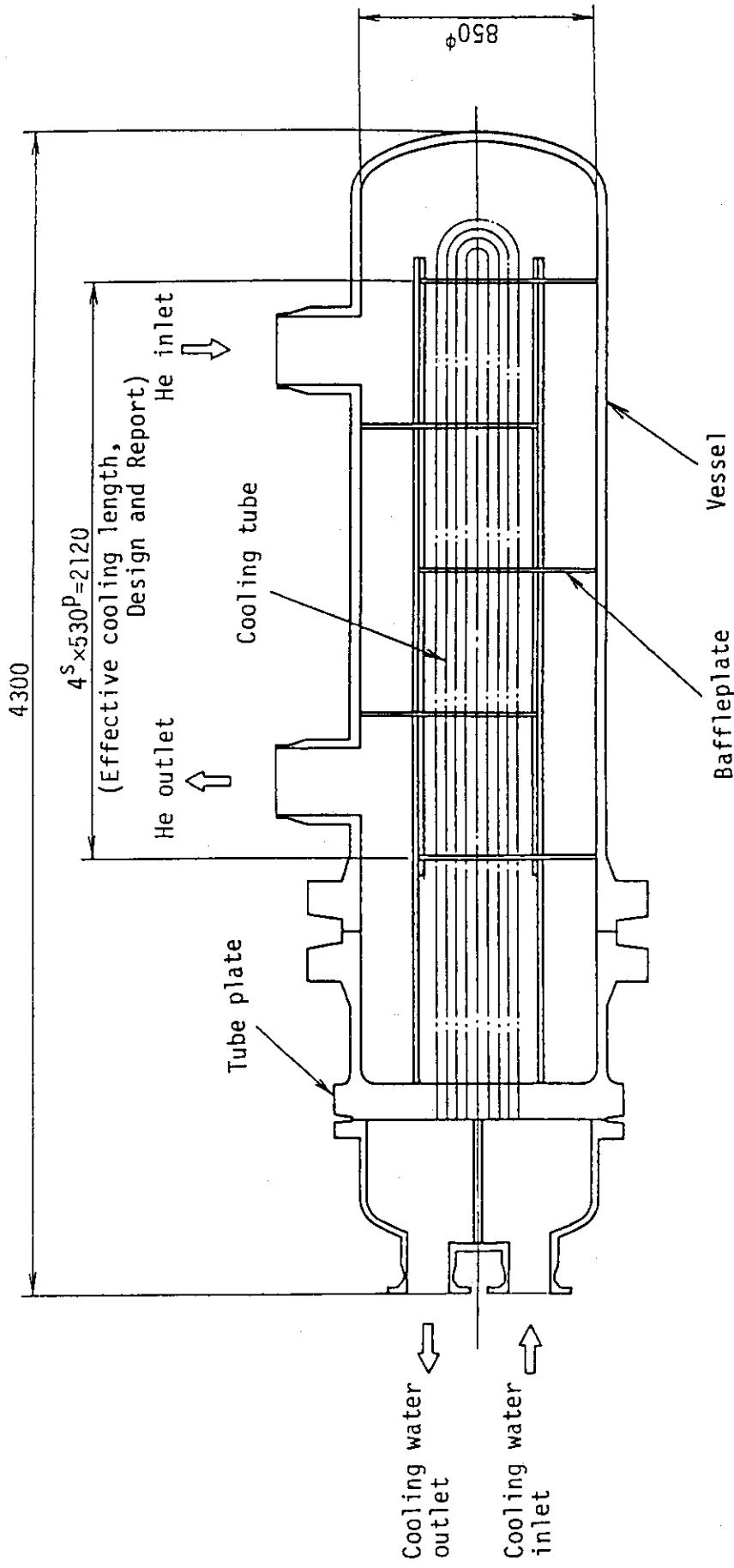
Fig. 2.7 Structure of helium gas heater (H_2)

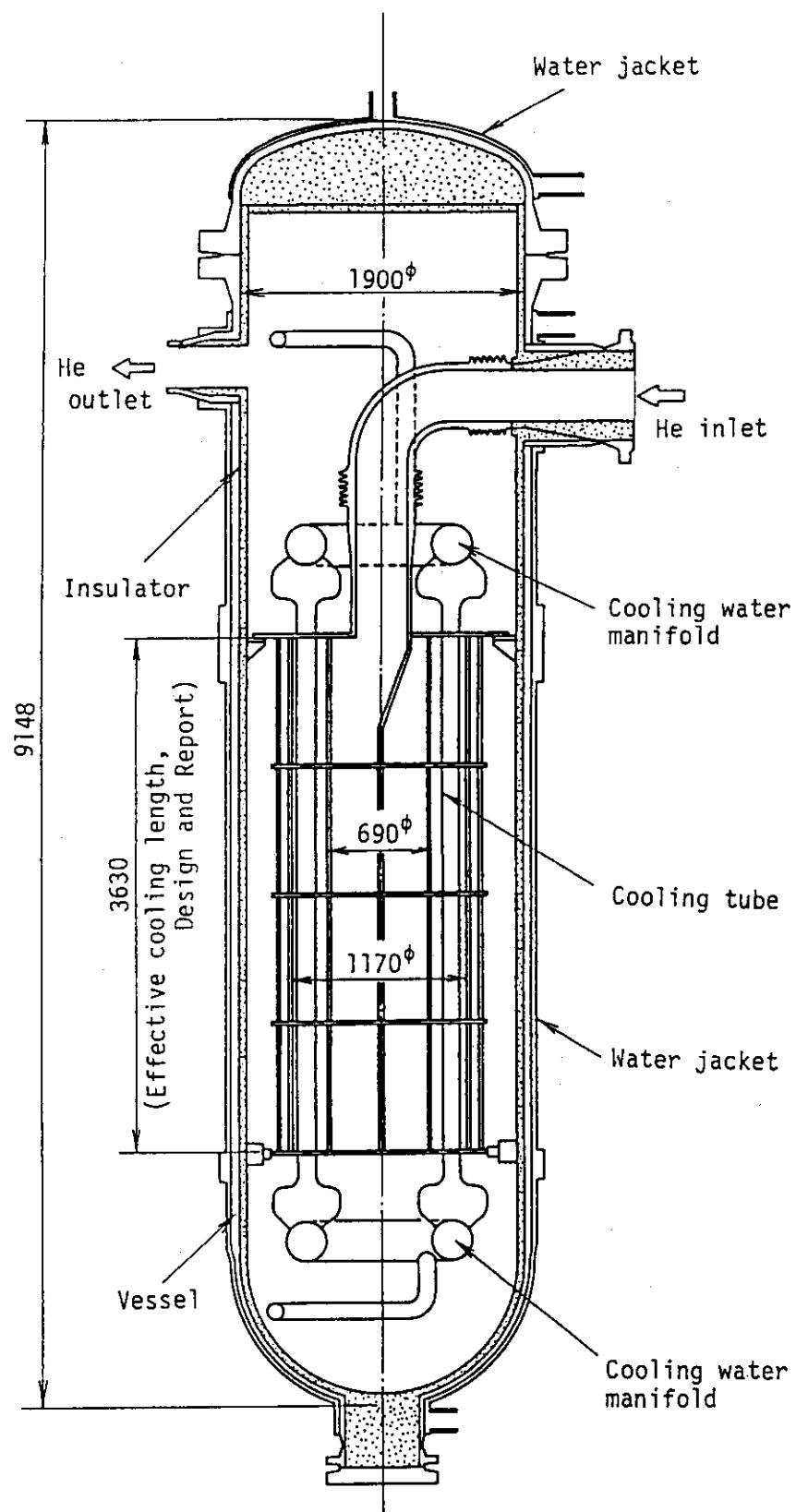
Fig. 2.8 Structure of helium gas heater (H₃₁)

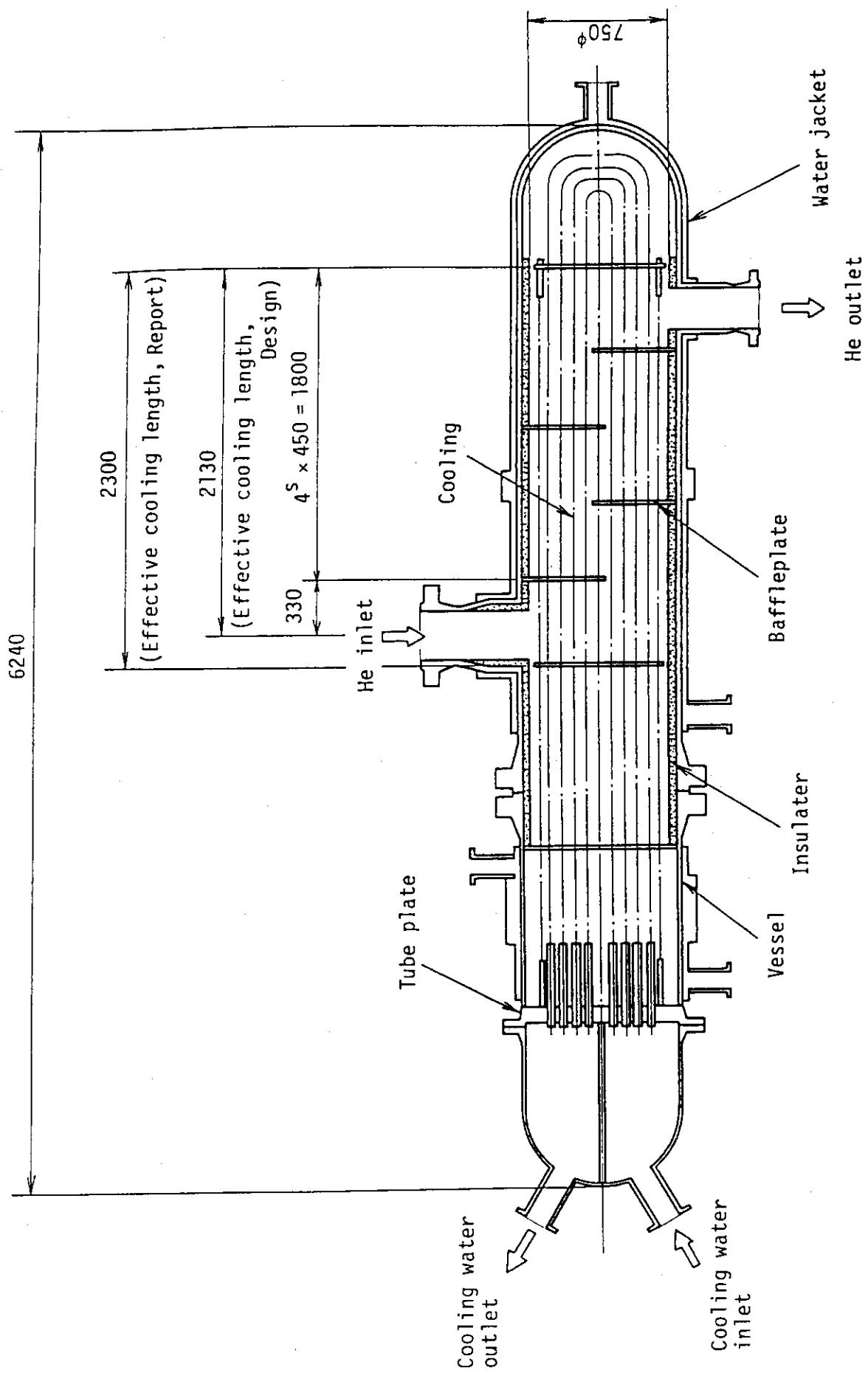


High Temperature Heater (H_{32})
 $700^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$
 $250 \sim 4369 \text{ kW}$

Fig. 2.9 Structure of helium gas heater (H_{32})

Fig. 2.10 Structure of helium gas cooler (C_2)

Fig. 2.11 Structure of helium gas cooler (C₃₁)

Fig. 2.12 Structure of helium gas cooler (C₃₂)

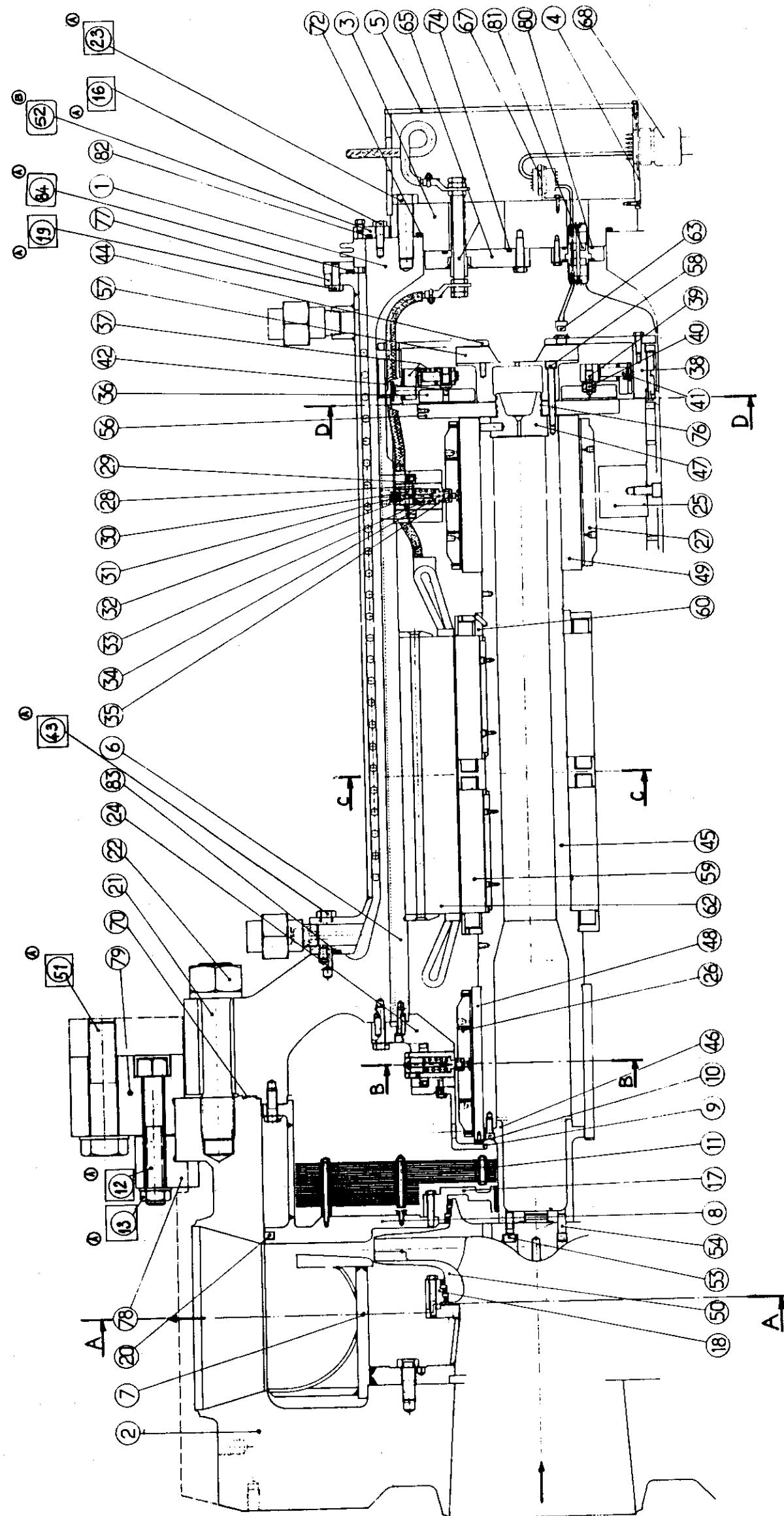
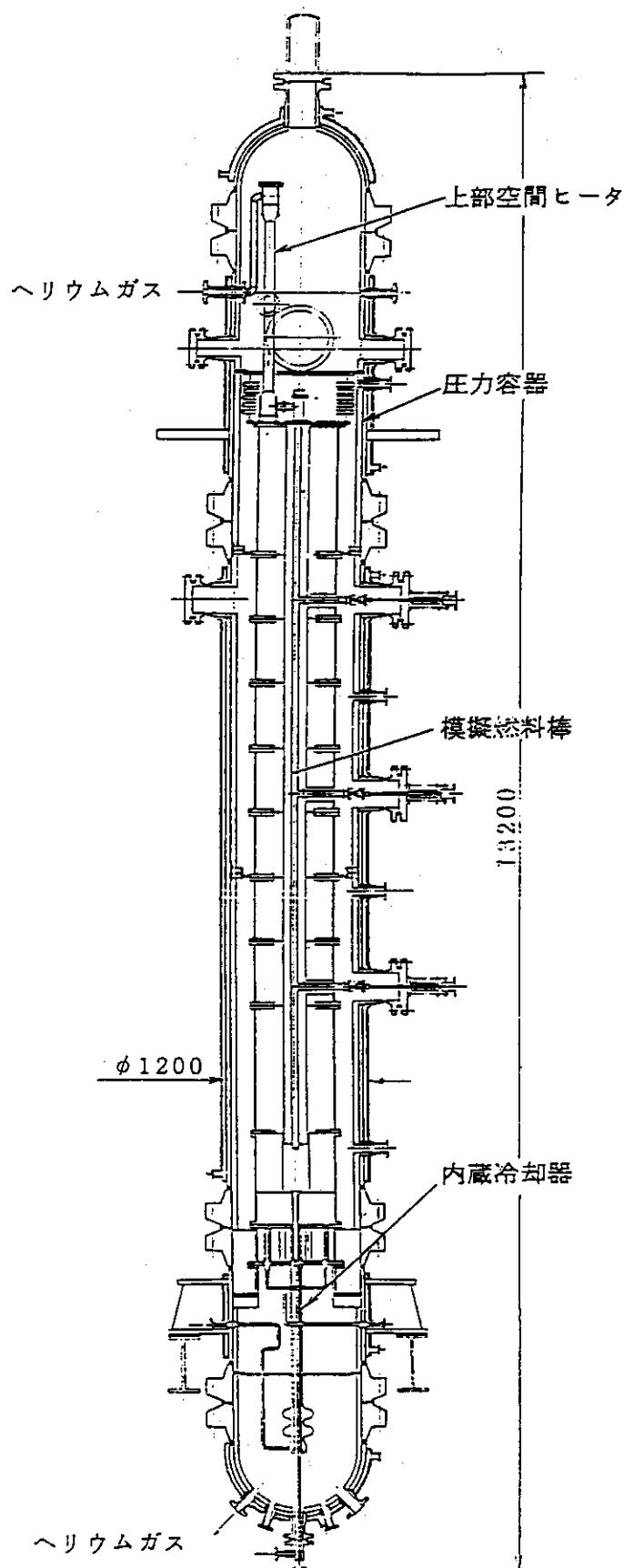


Fig. 2.13 Structure of helium gas circulator ($B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}$)

Fig. 2.14 Structure of T_{1-S} test section

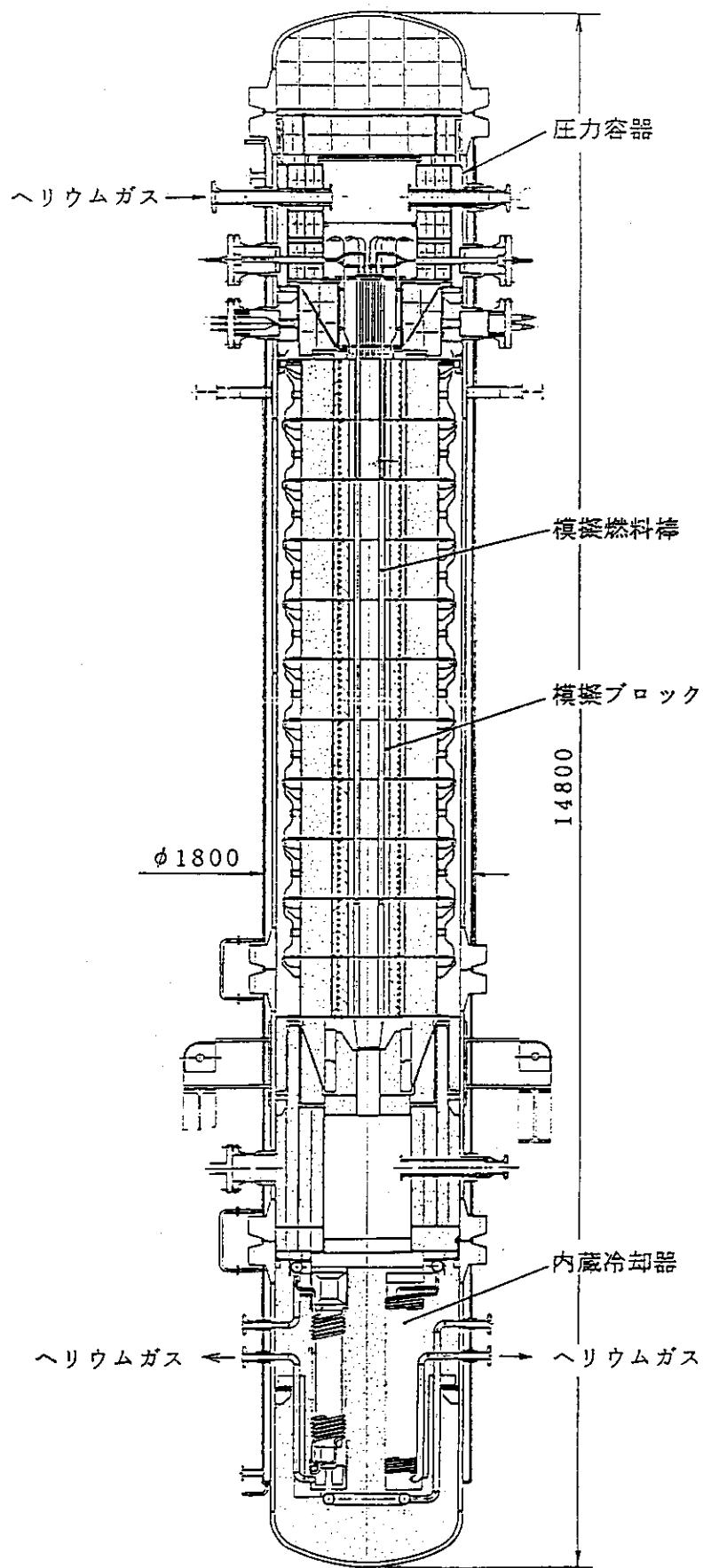
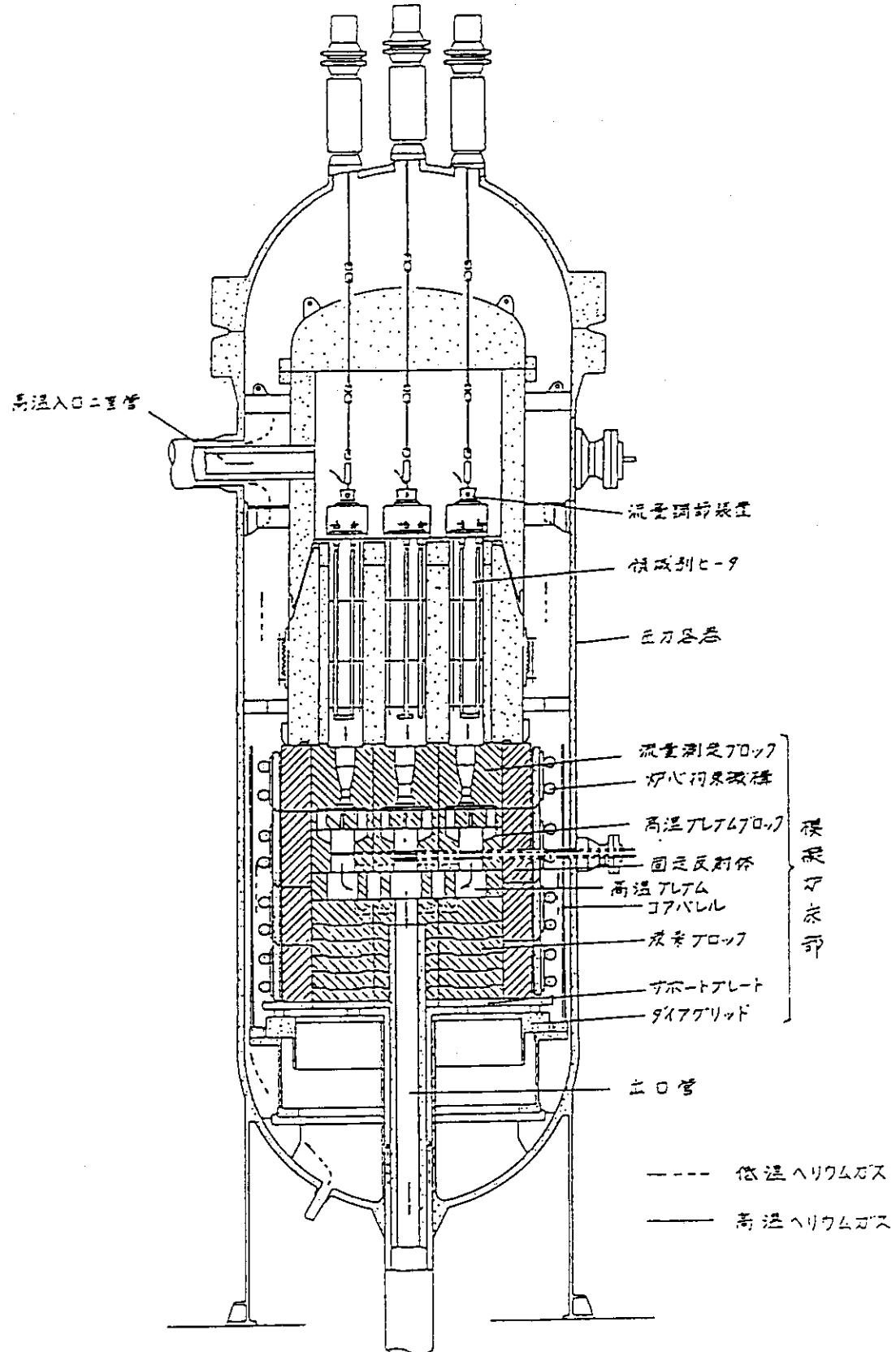


Fig. 2.15 Structure of Ti-M test section

Fig. 2.16 Structure of T₂ test section

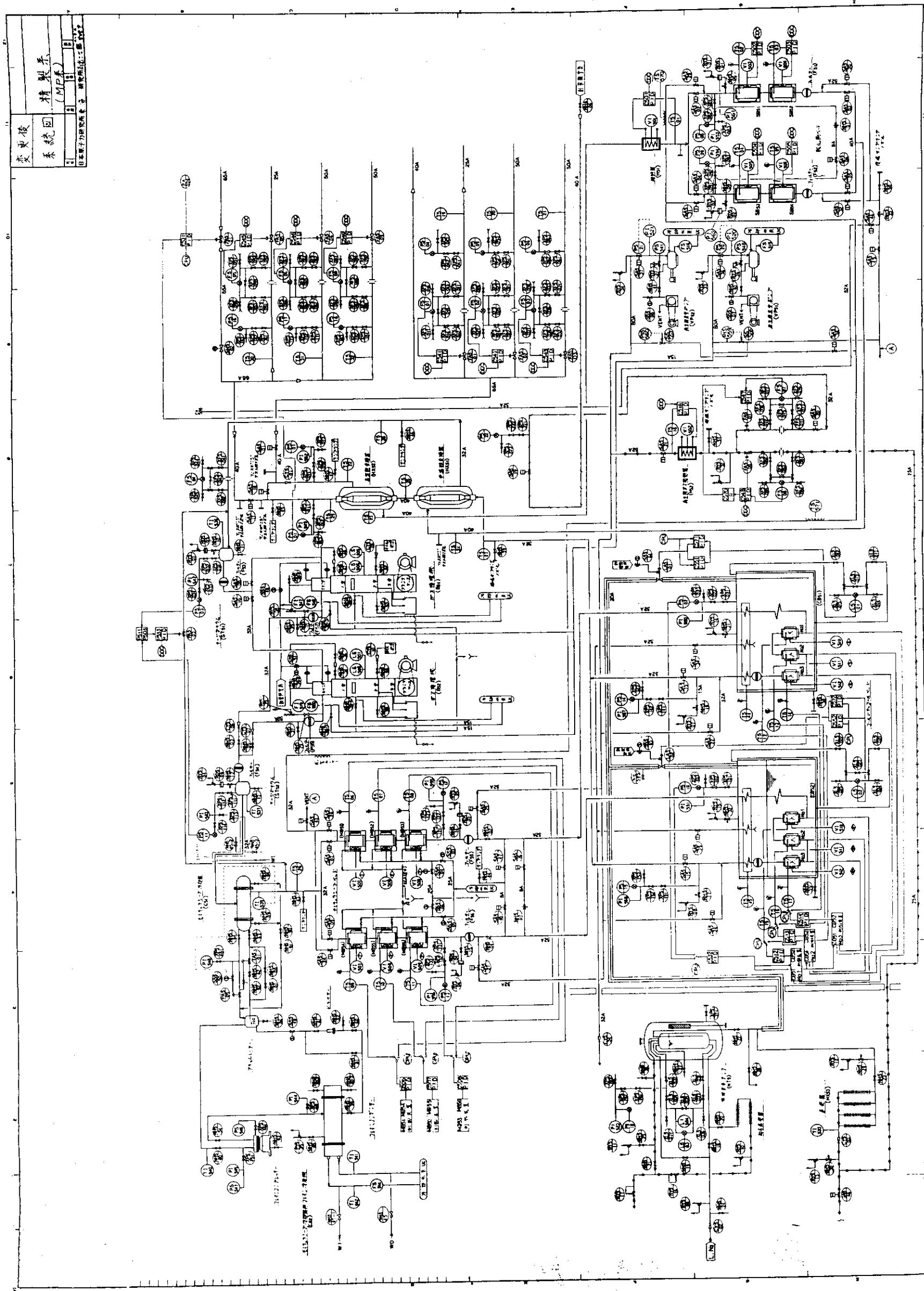
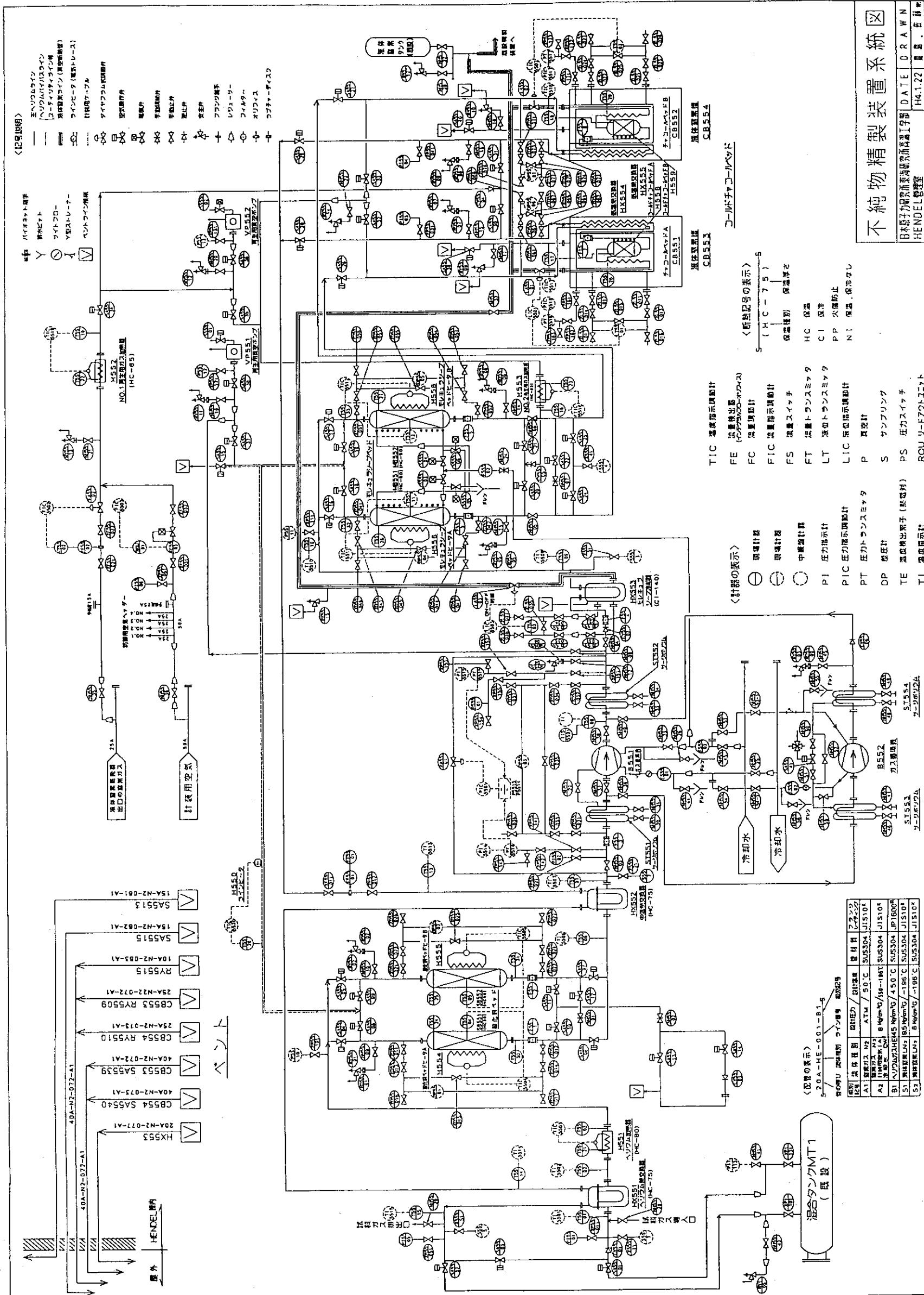


Fig. 2.17 Helium gas purification system

Fig. 2.18 Helium gas purification system (M_1 -loop)



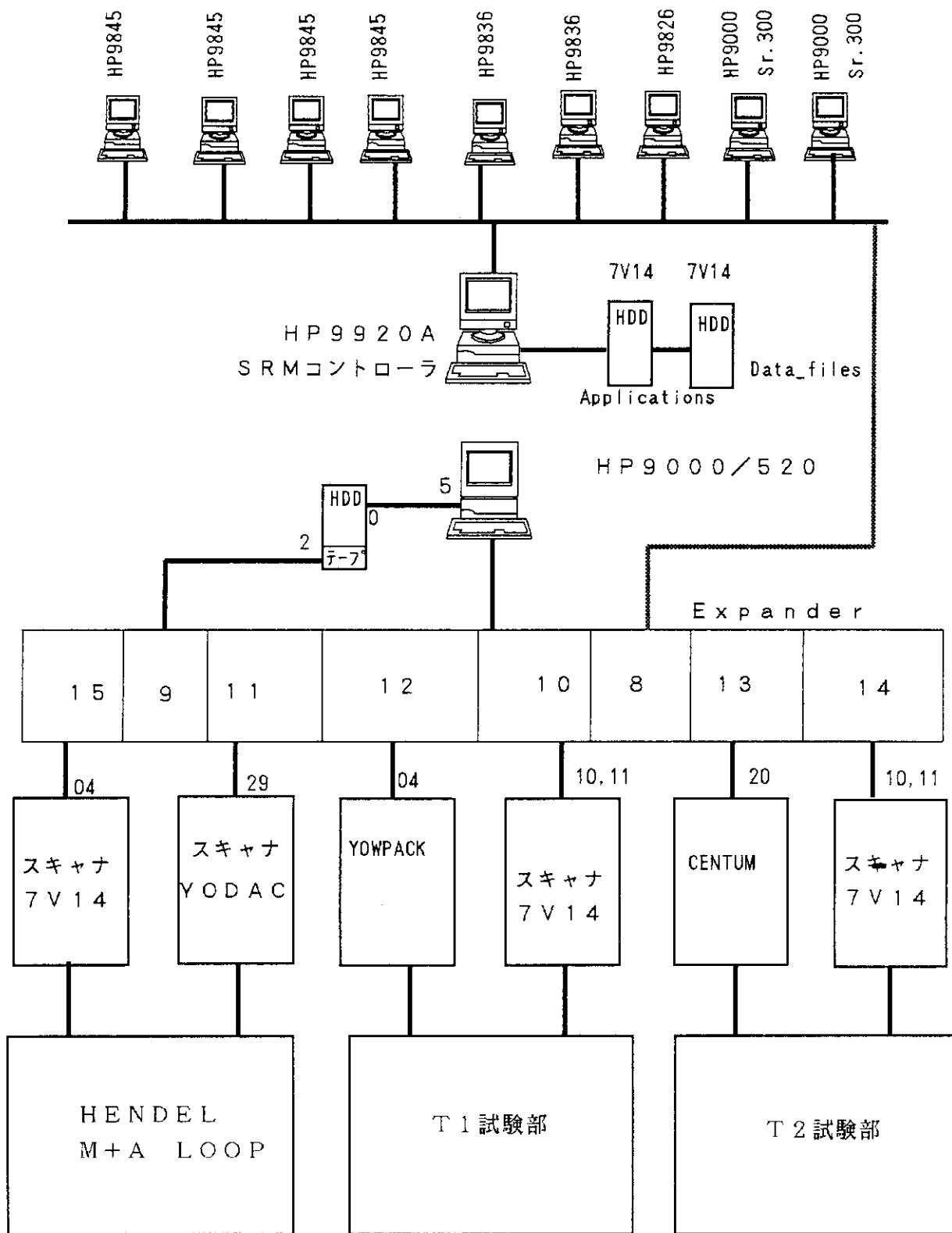


Fig. 2.19 Configuration of data acquisition system of the HENDEL

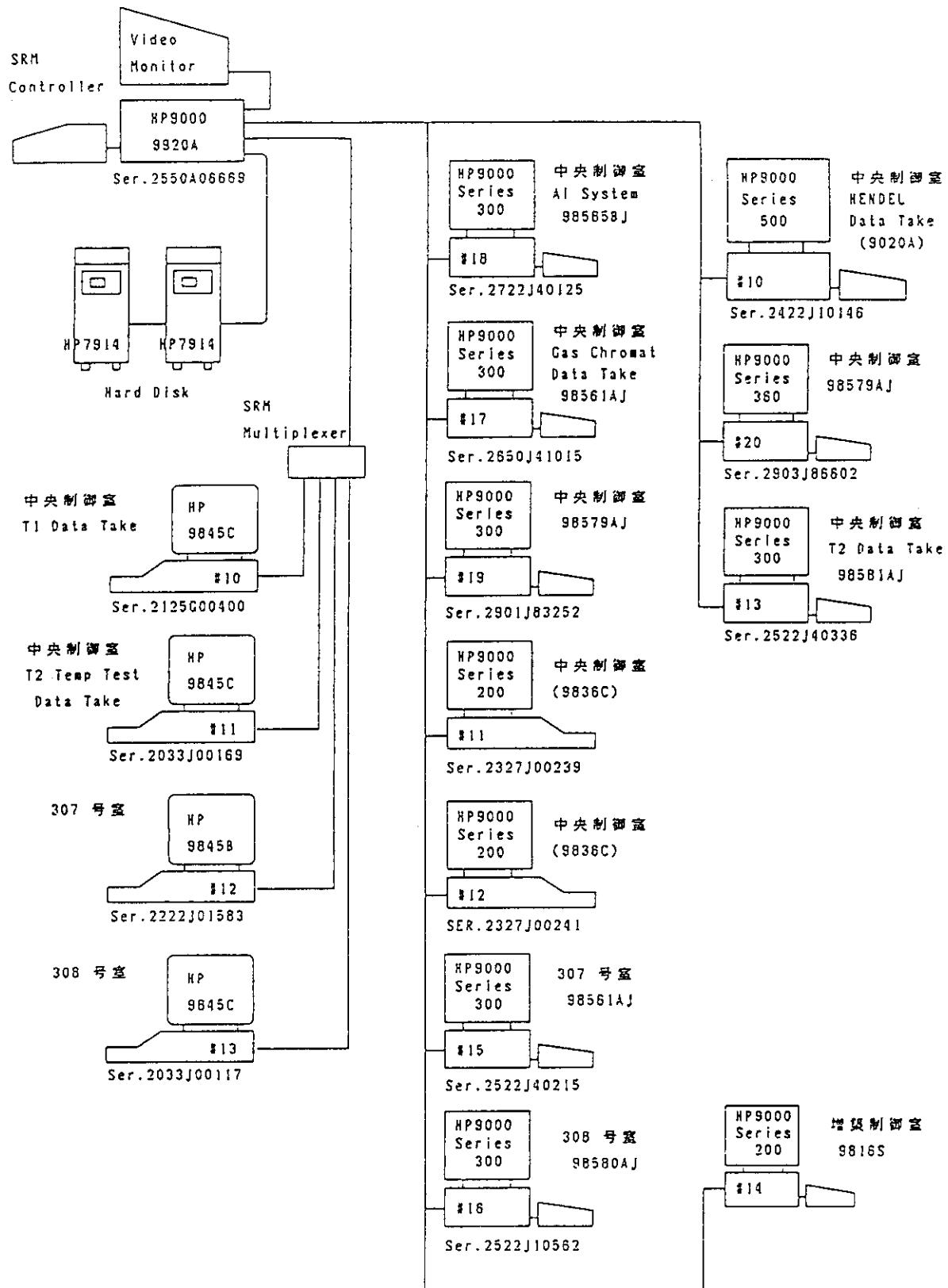


Fig. 2.20 Configuration of SRM-system

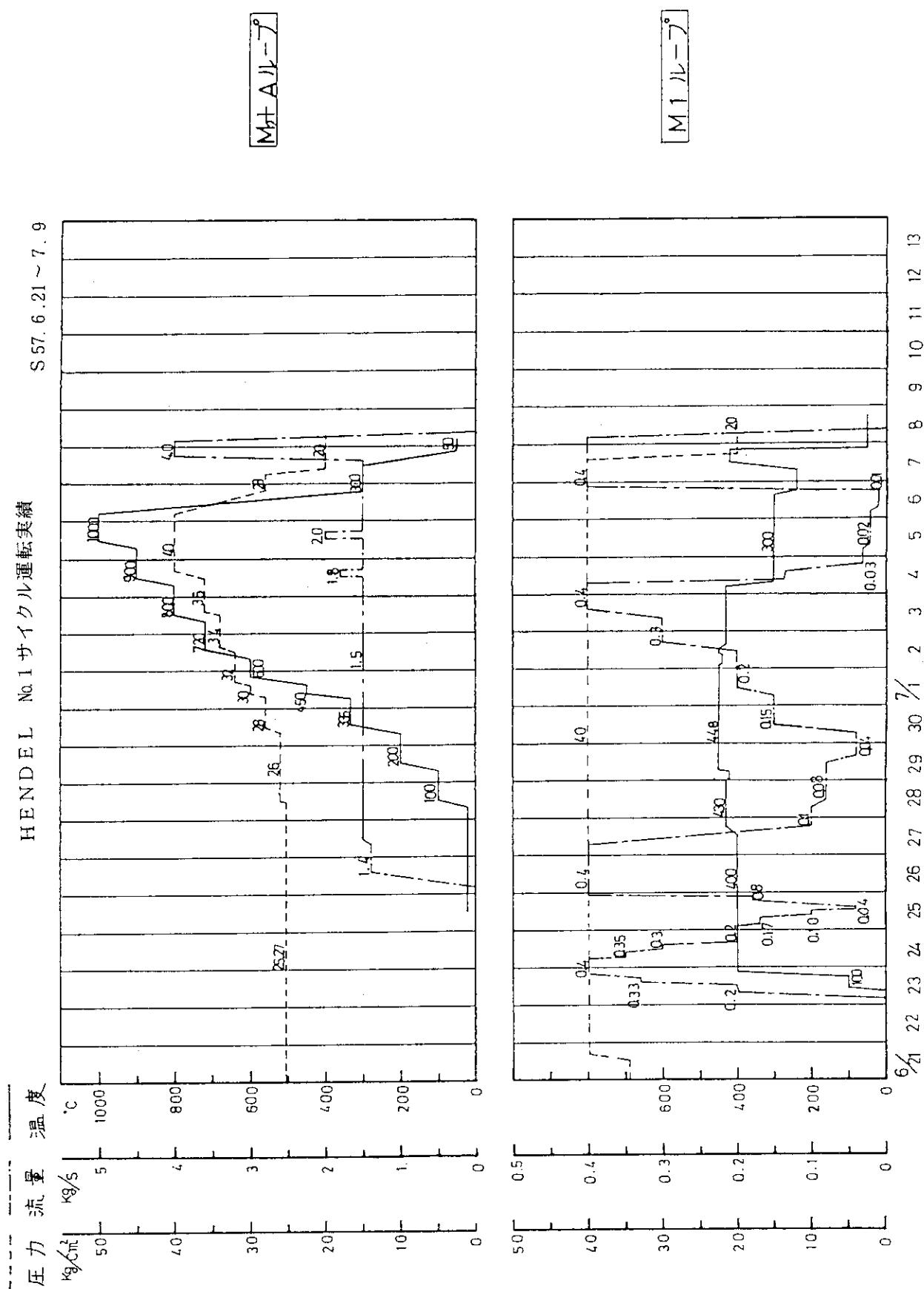


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (1/71)

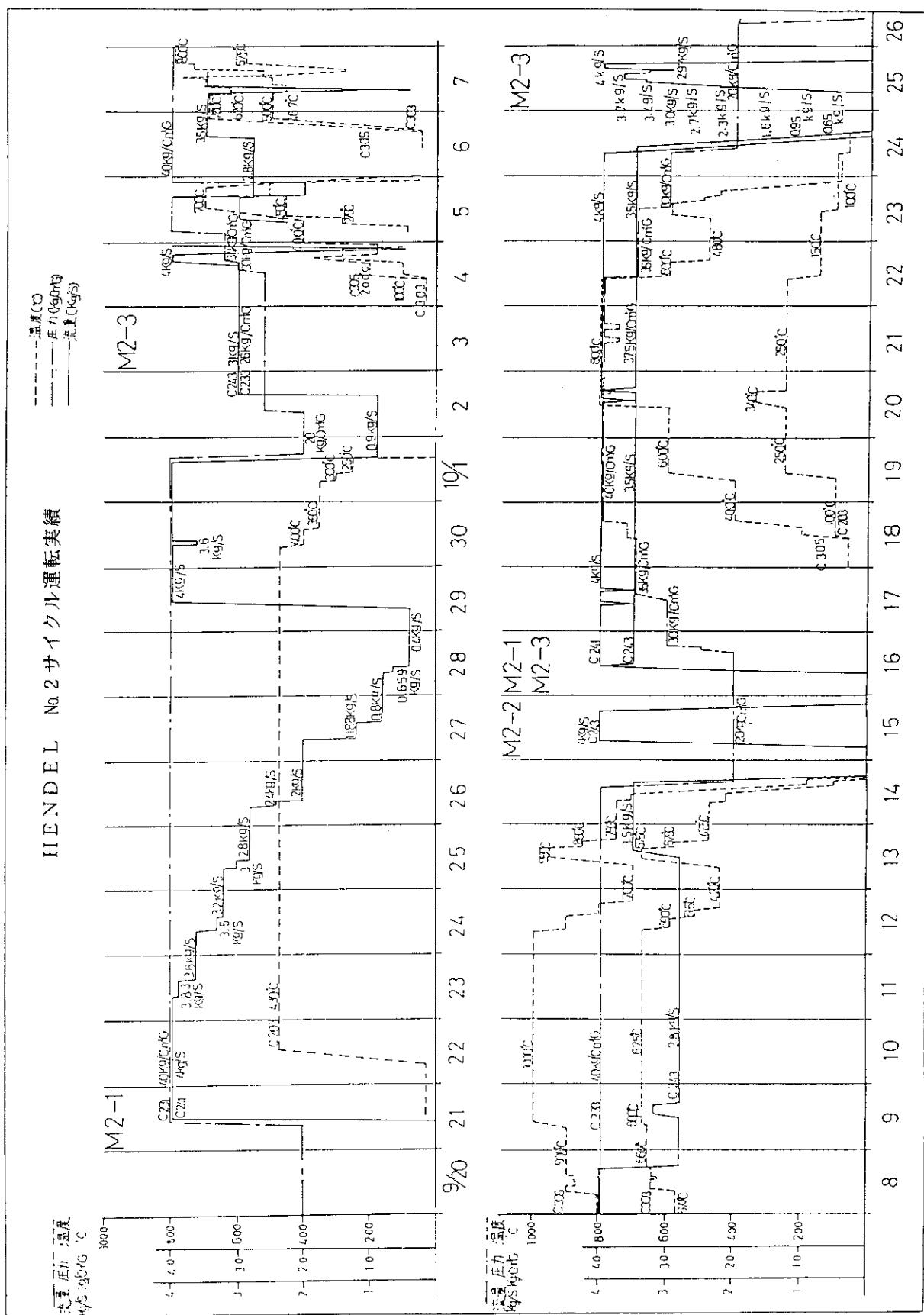


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (2/71)

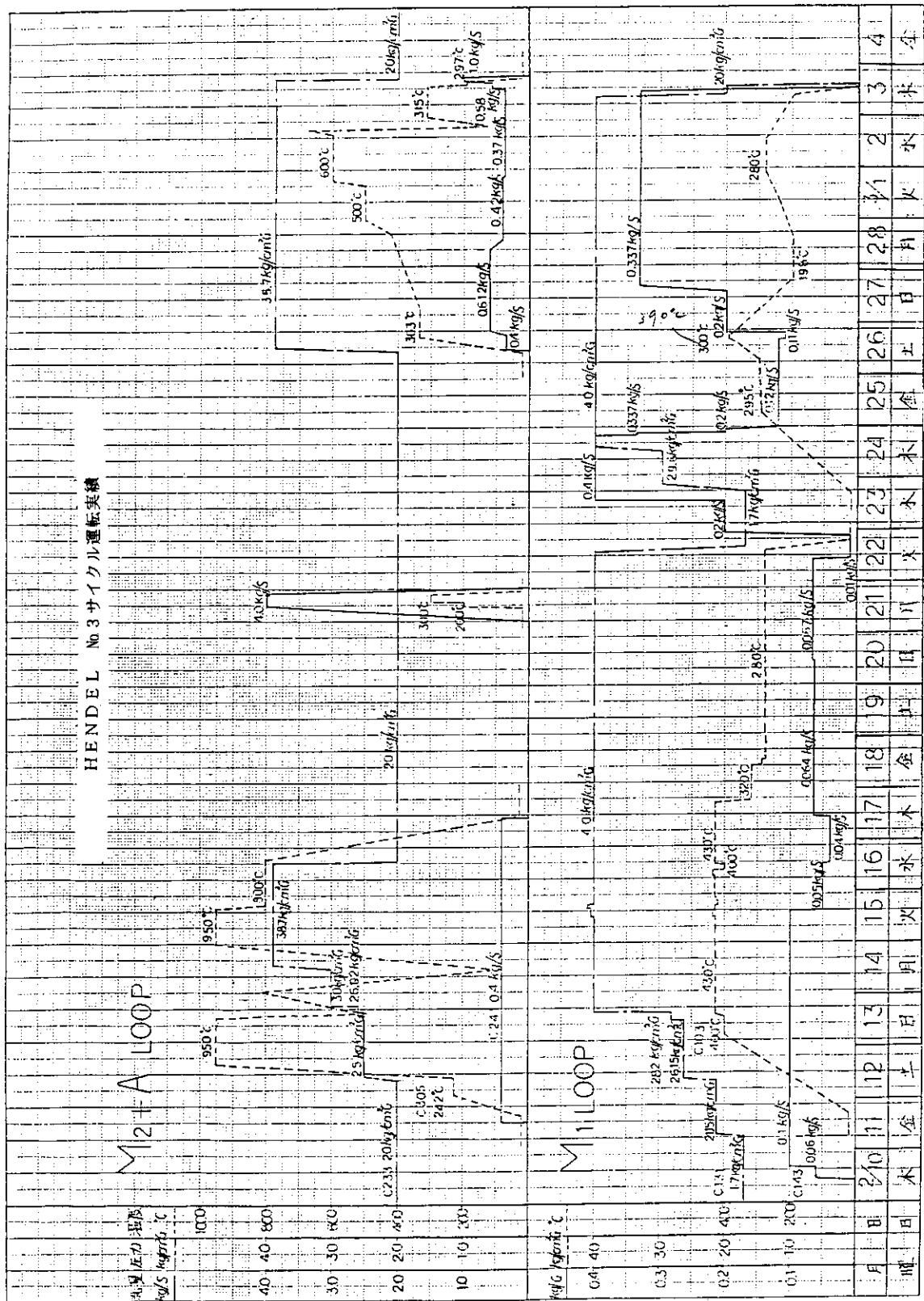


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (3/71)

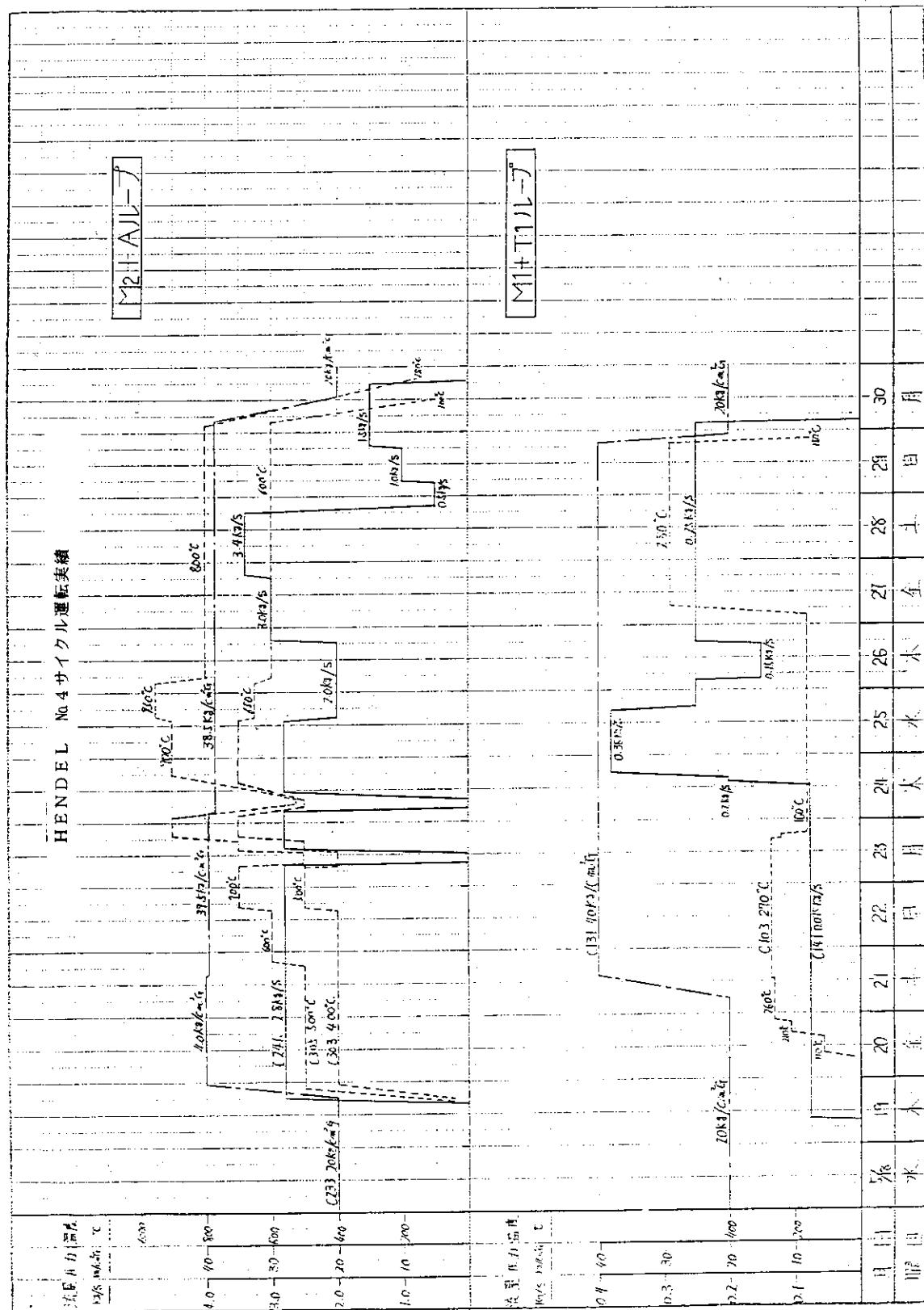


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (4/71)

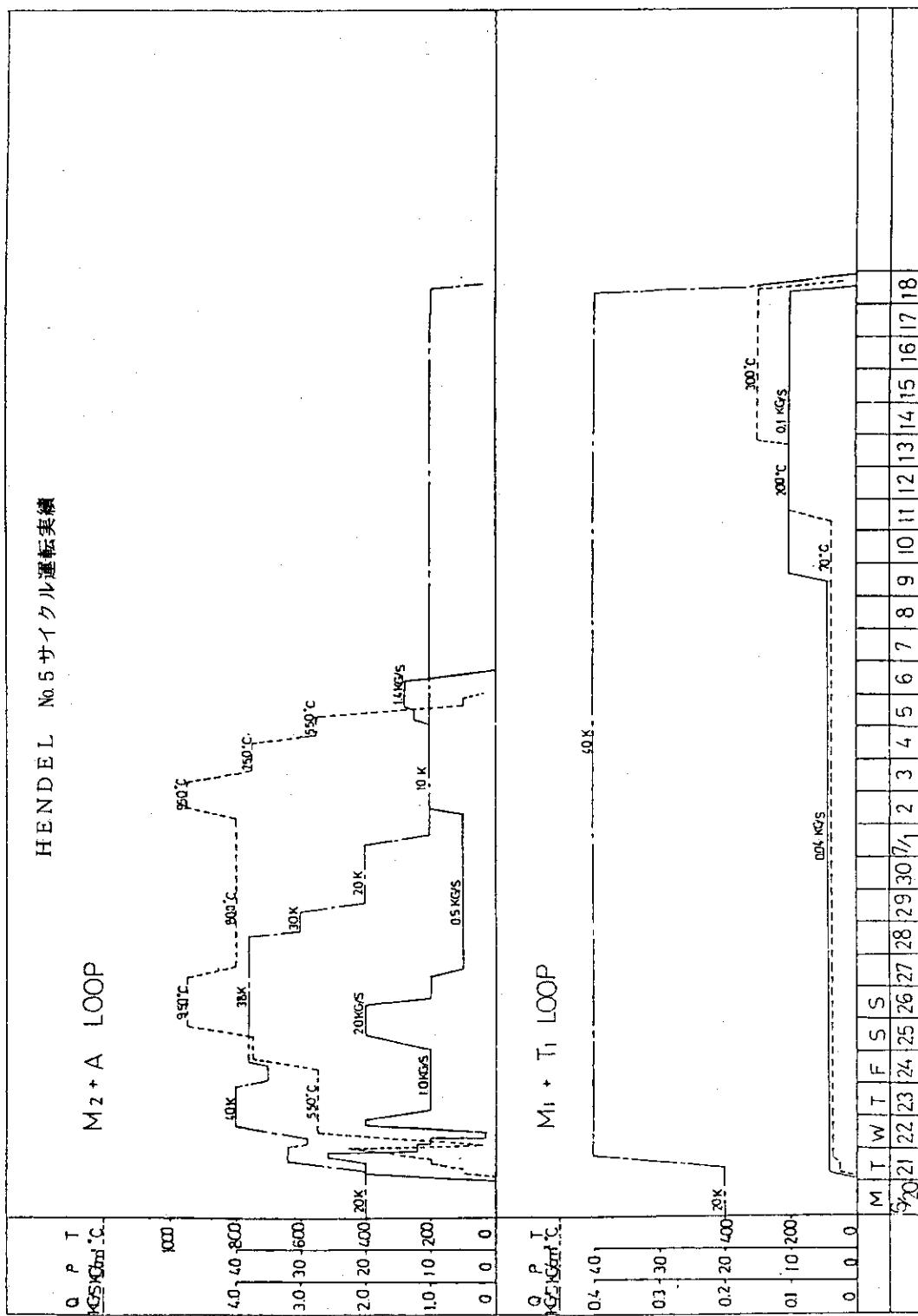


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (5/71)

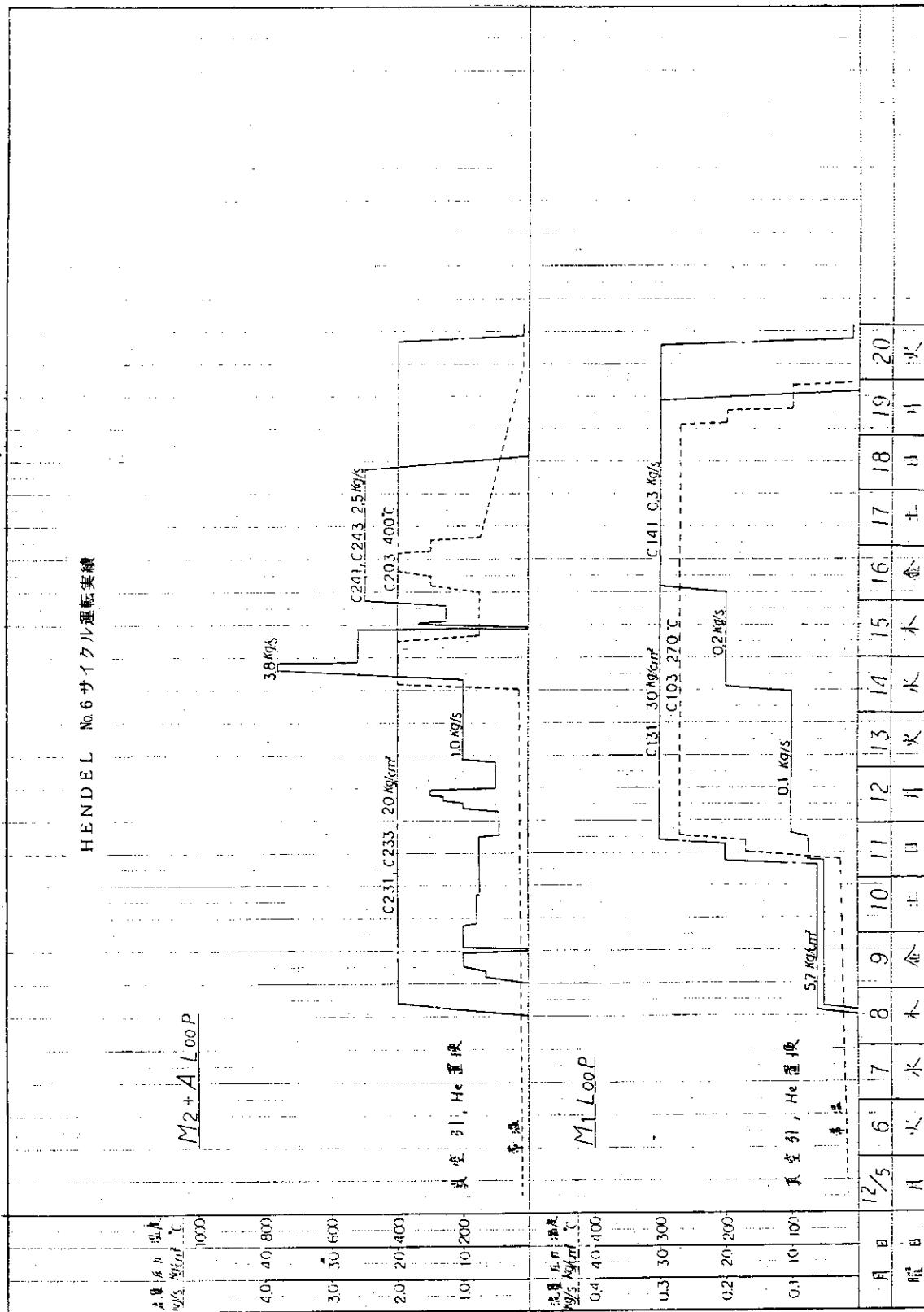


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (6/71)

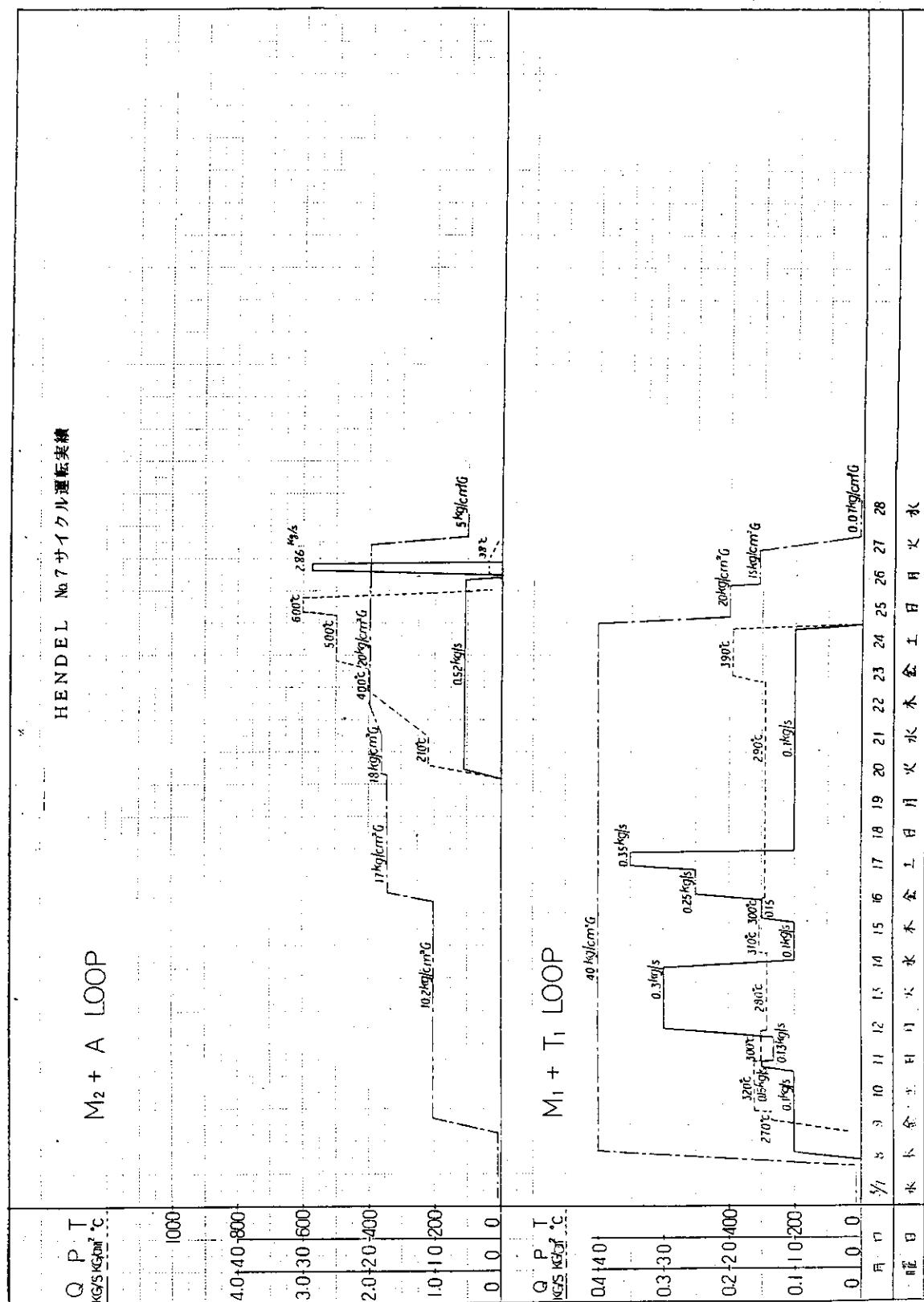


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (7/71)

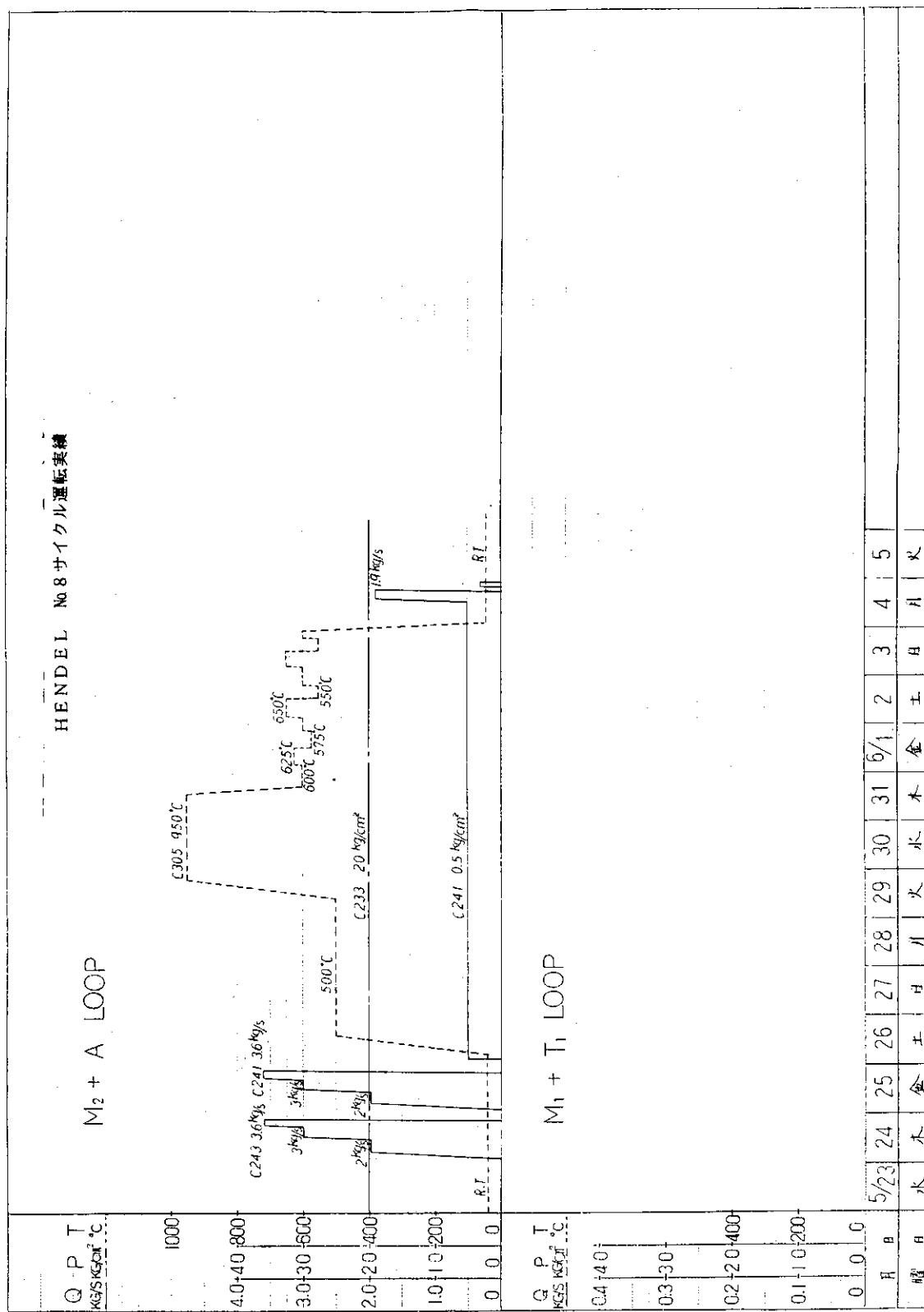


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (8/71)

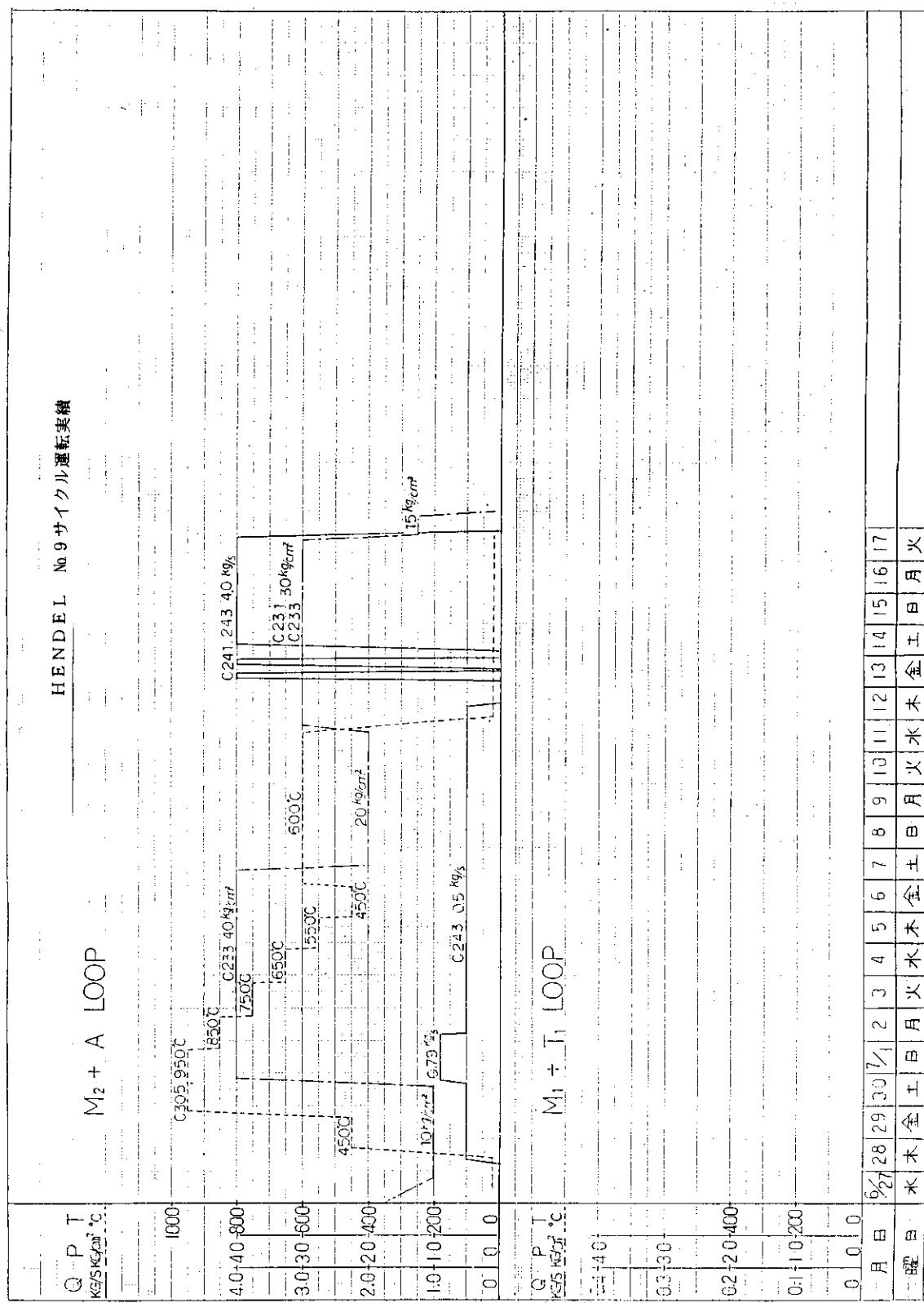


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (9/71)

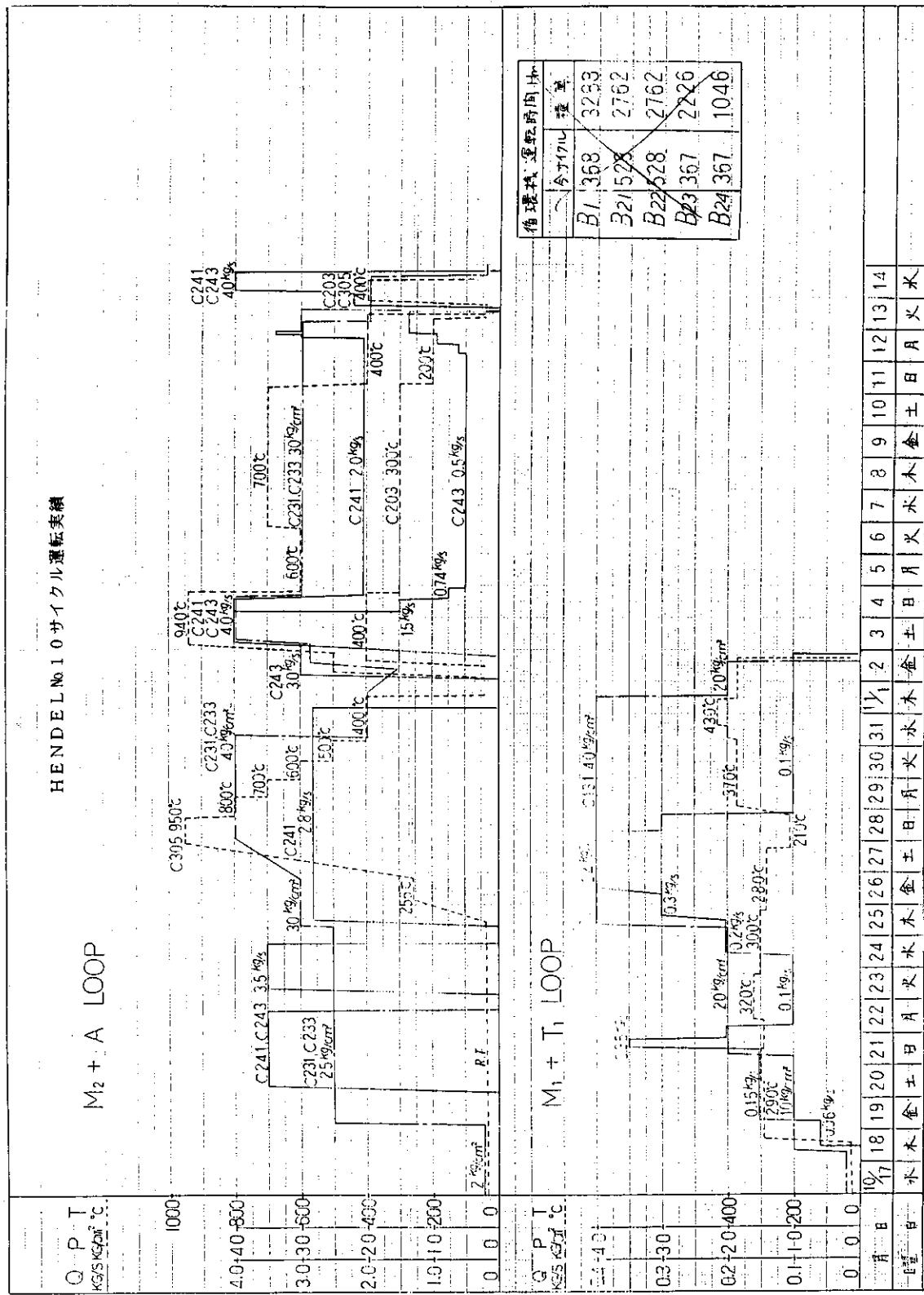


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (10/71)

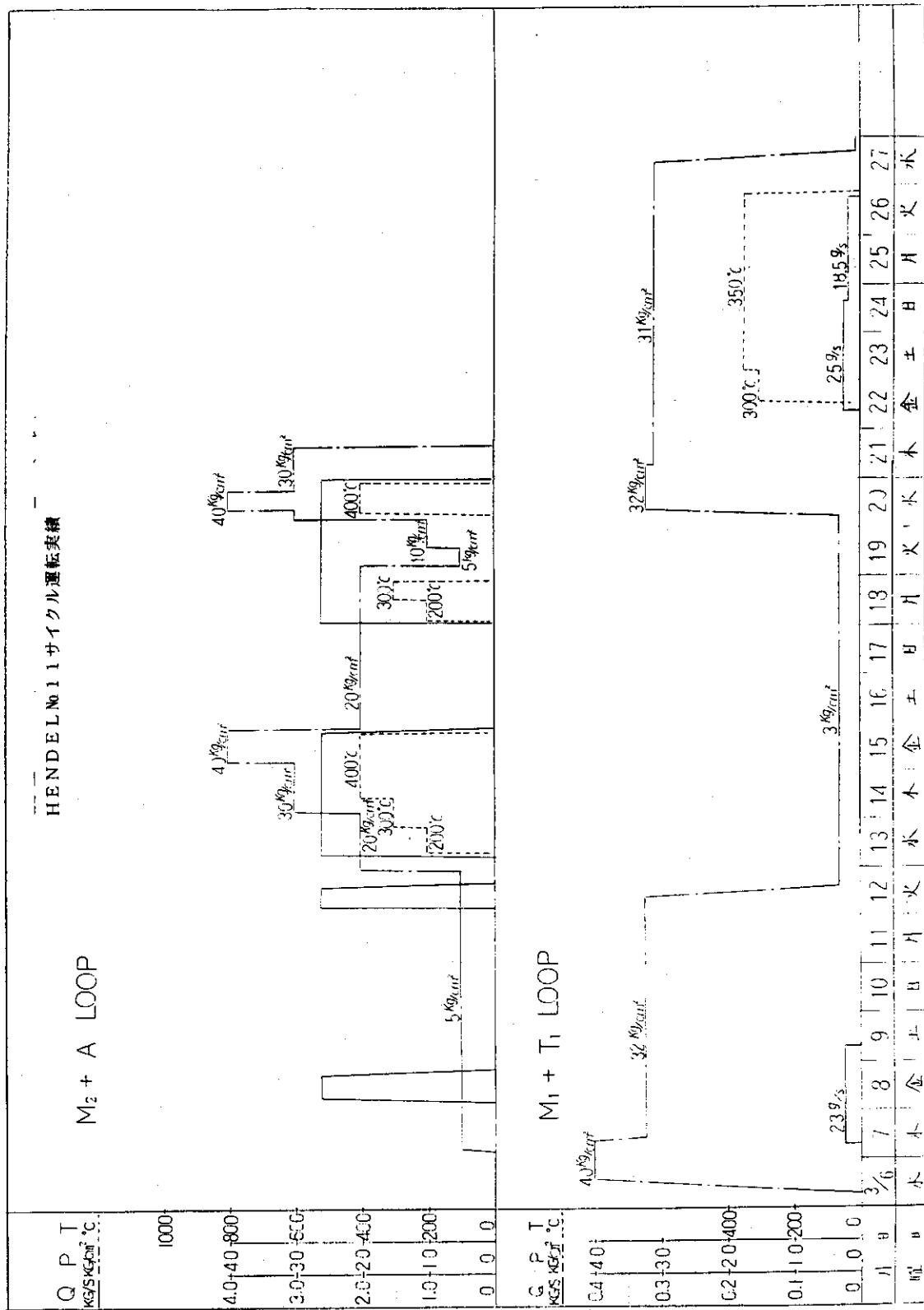


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (11/71)

HENDEL No 1 2 サイクル運転実績									
M ₂ + A LOOP									
Q kcal/sec	P °C	T °C	M ₂	A	LOOP				
1600									
40+40-300	C241 4.0kg								
30-30-600	35kg								
20-20-400	30kg								
10-10-200									
0 0 0	5kg/m ²								
M ₁ + T ₁ LOOP									
64-40									
63-30									
62-20-400	30kg/m ²								
0-10-200	20kg/m ²	30kg/m ²							
0 0 0	5kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²	10kg/m ²
月 日	7/22	23	24	25	26	27	28	29	30
曜 日	月	火	水	木	金	土	日	月	火

Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (12/71)

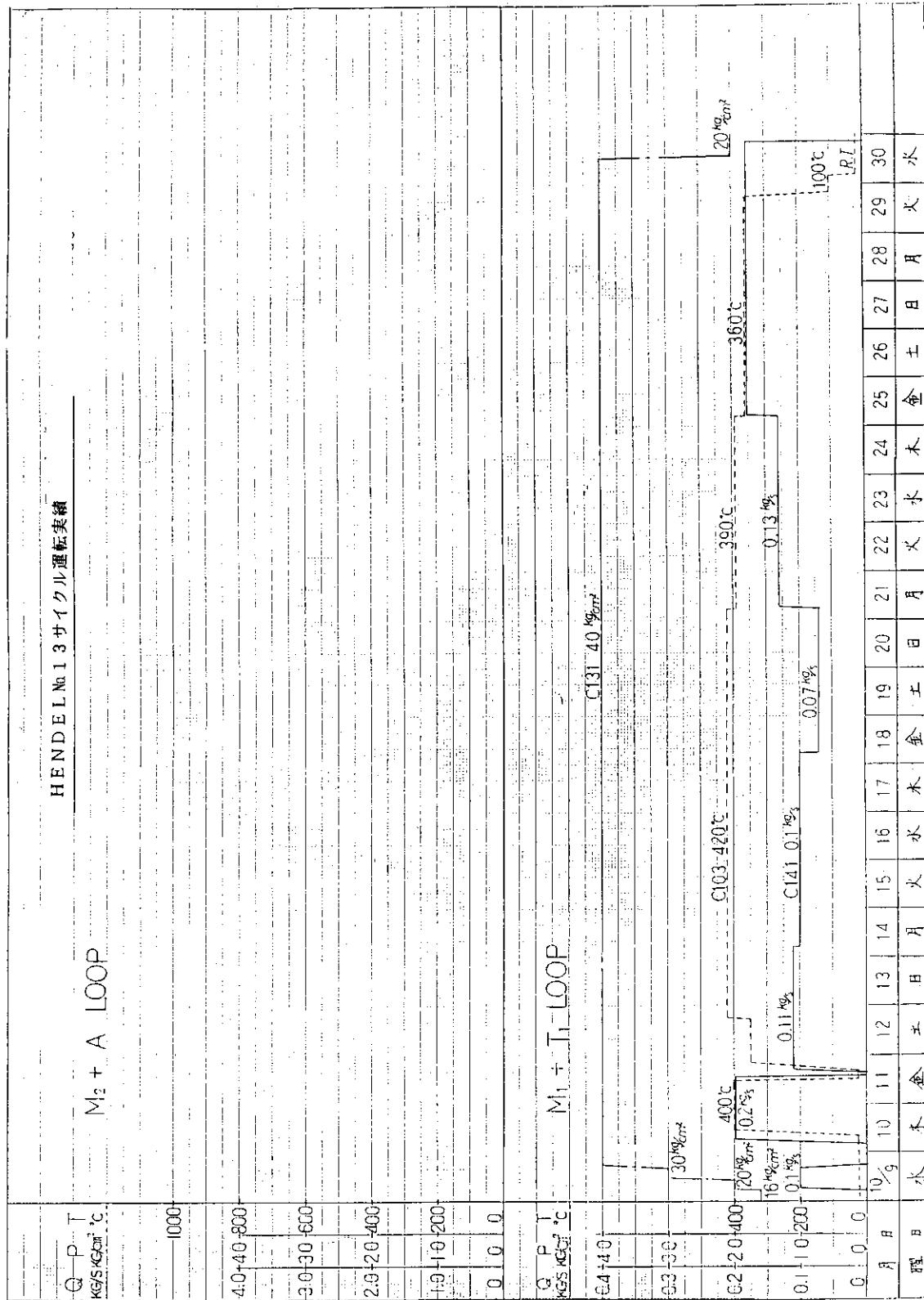


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (13/71)

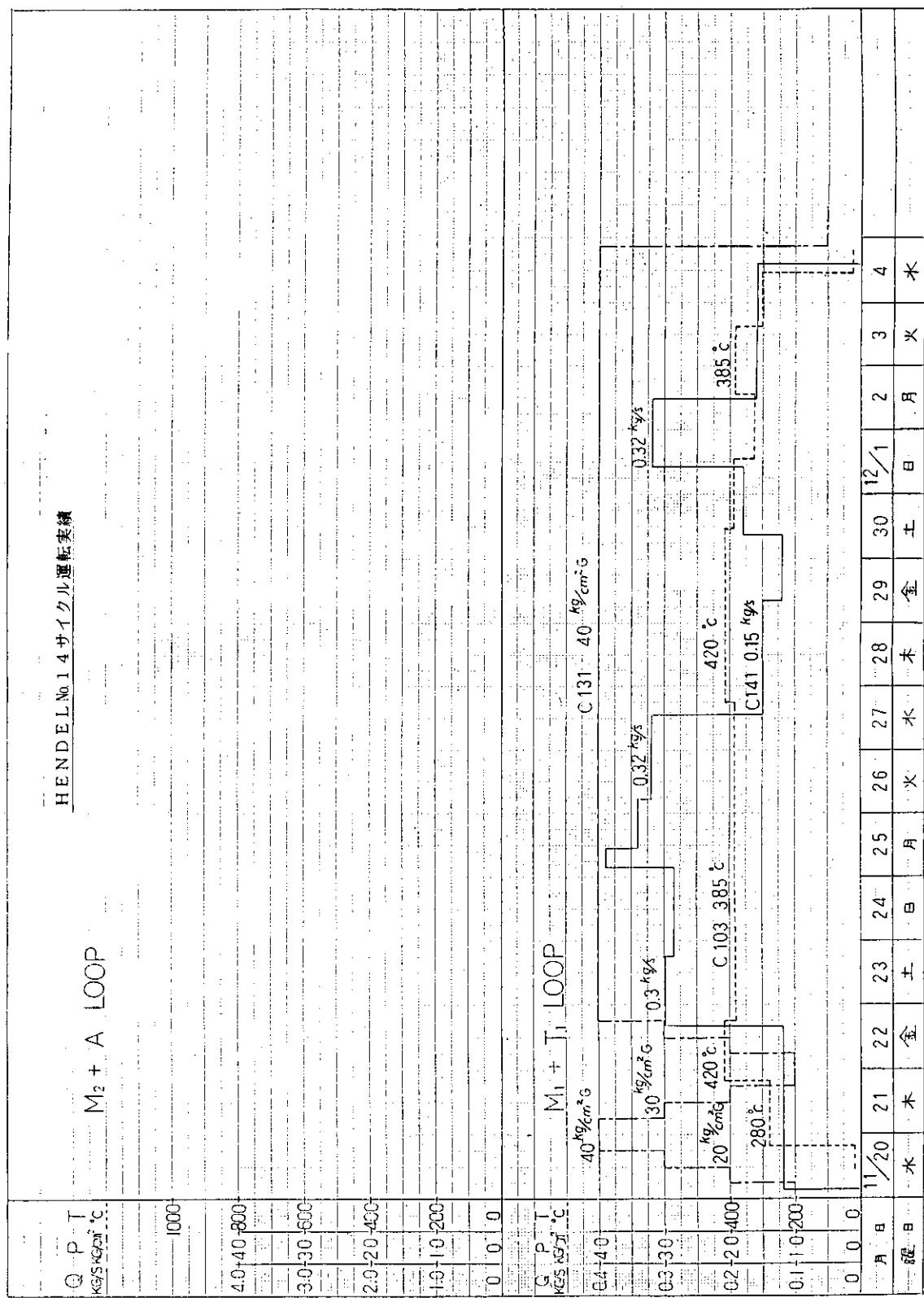


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (14/71)

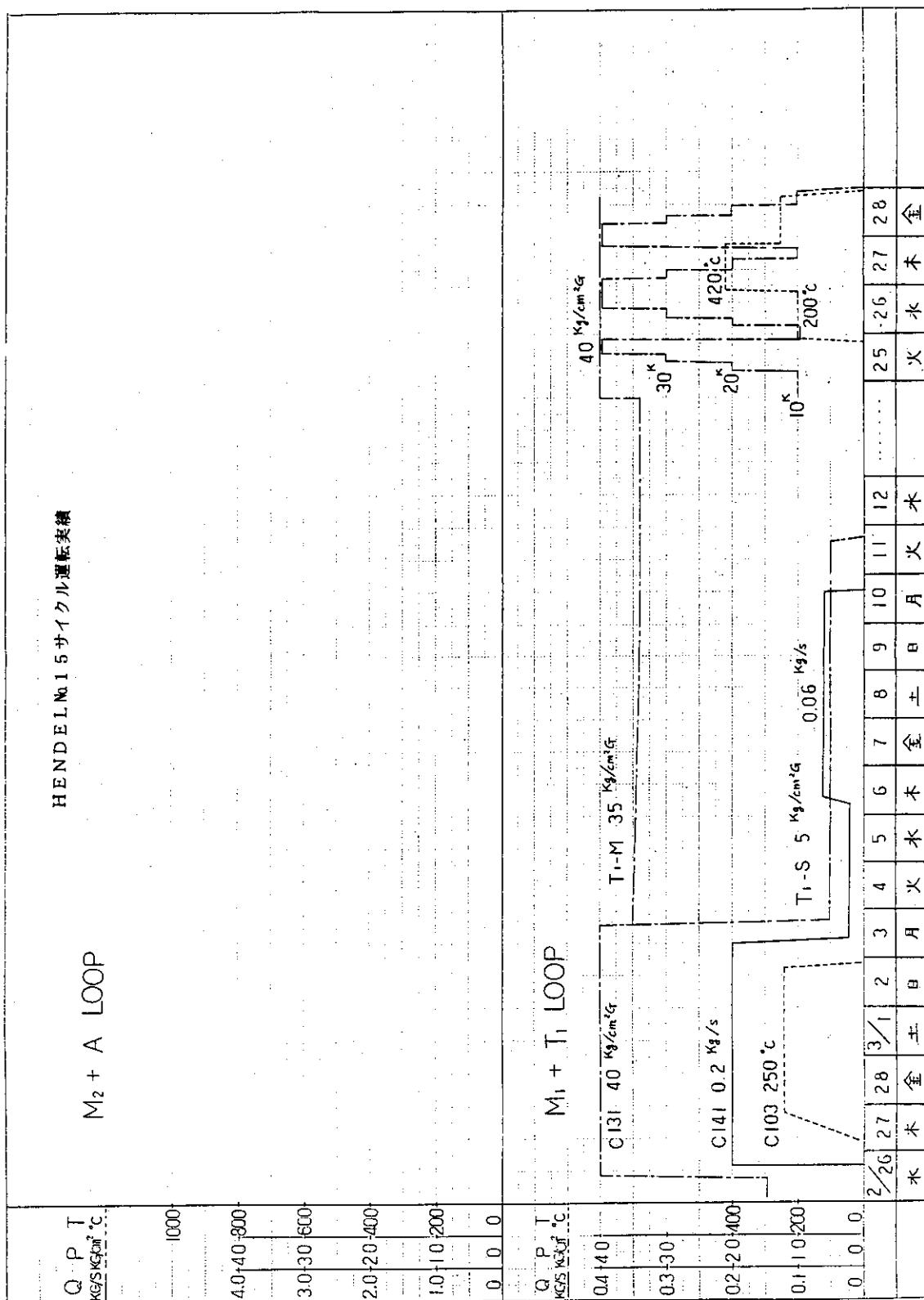


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (15/71)

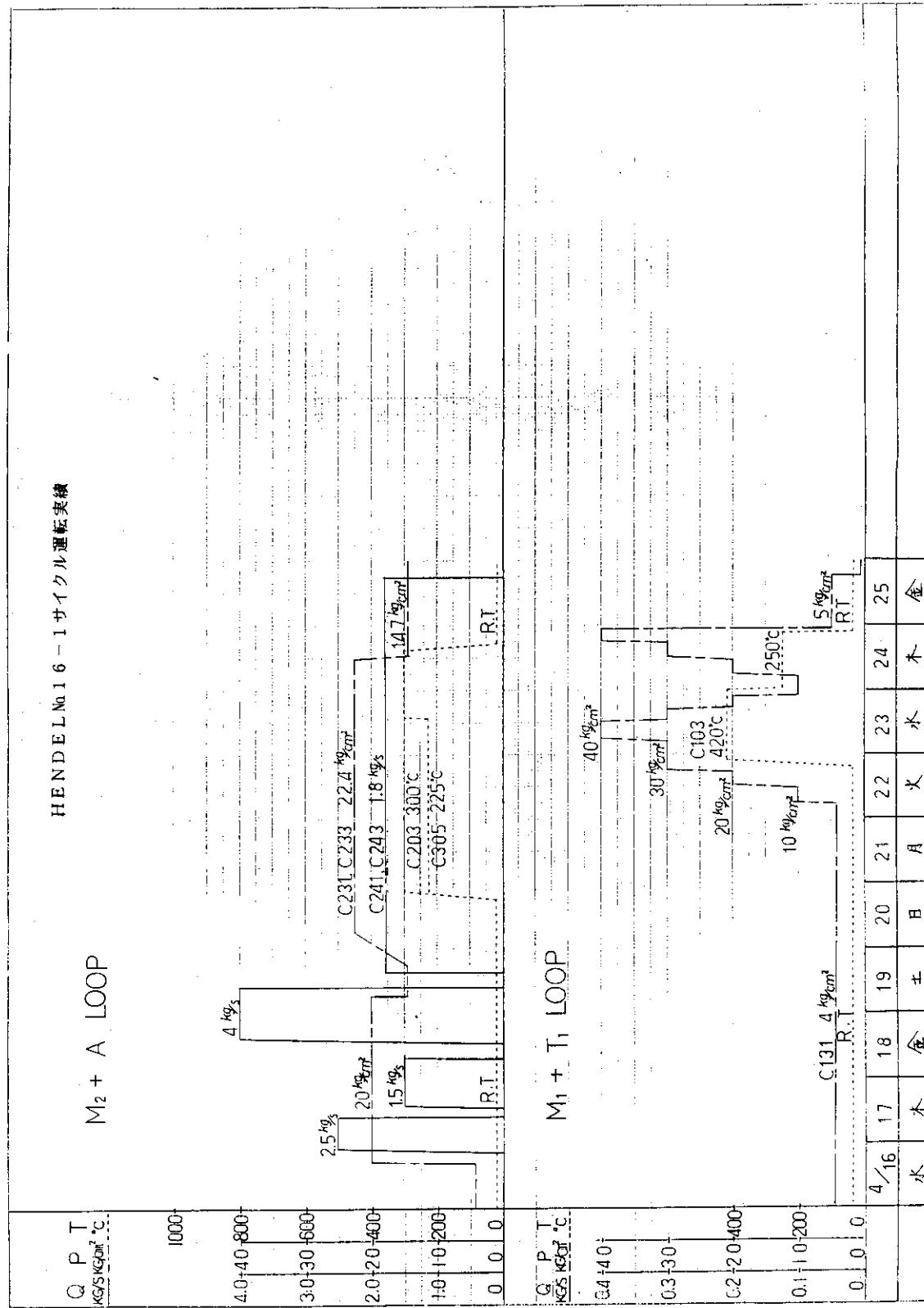


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (16/71)

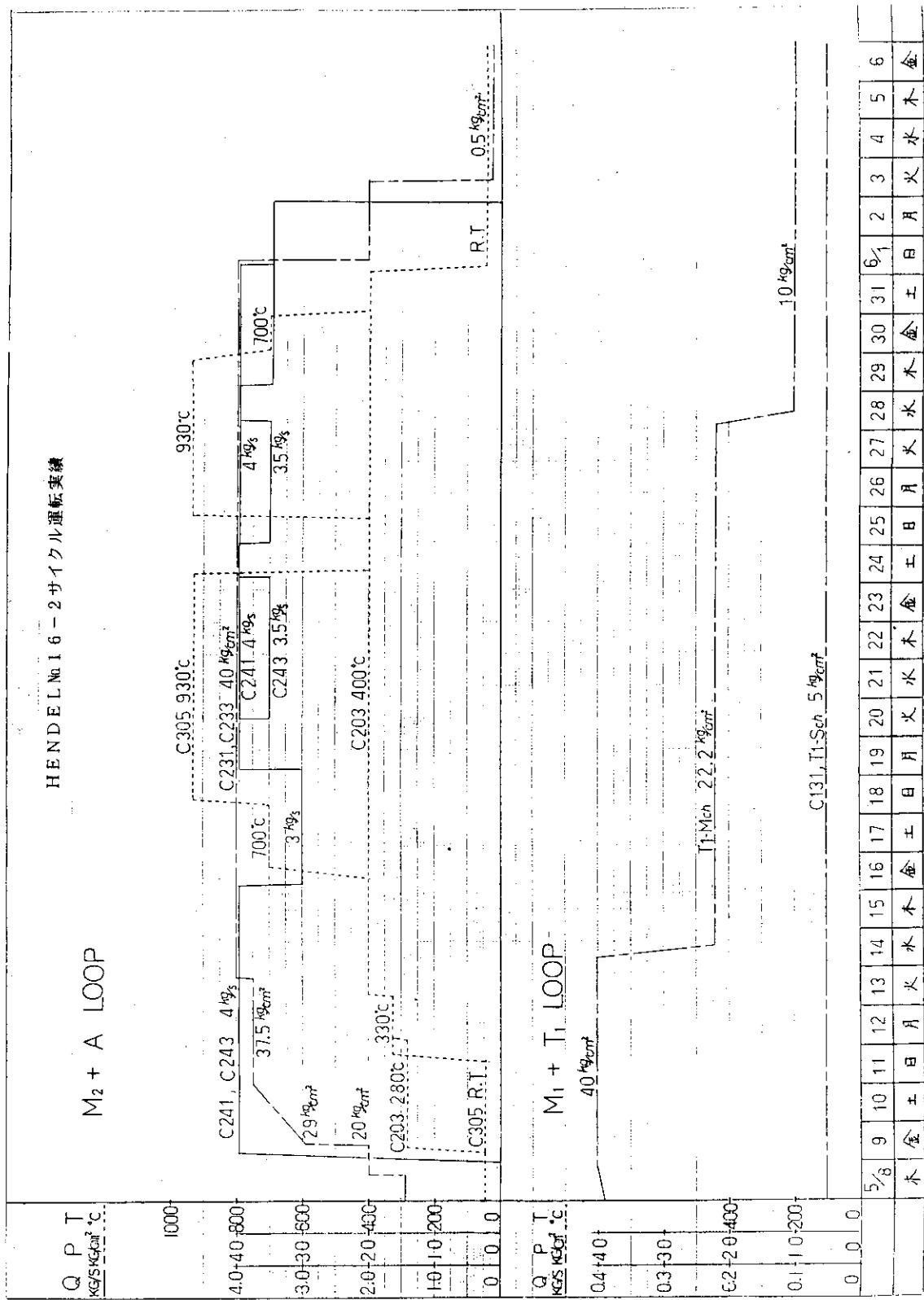


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (17/71)

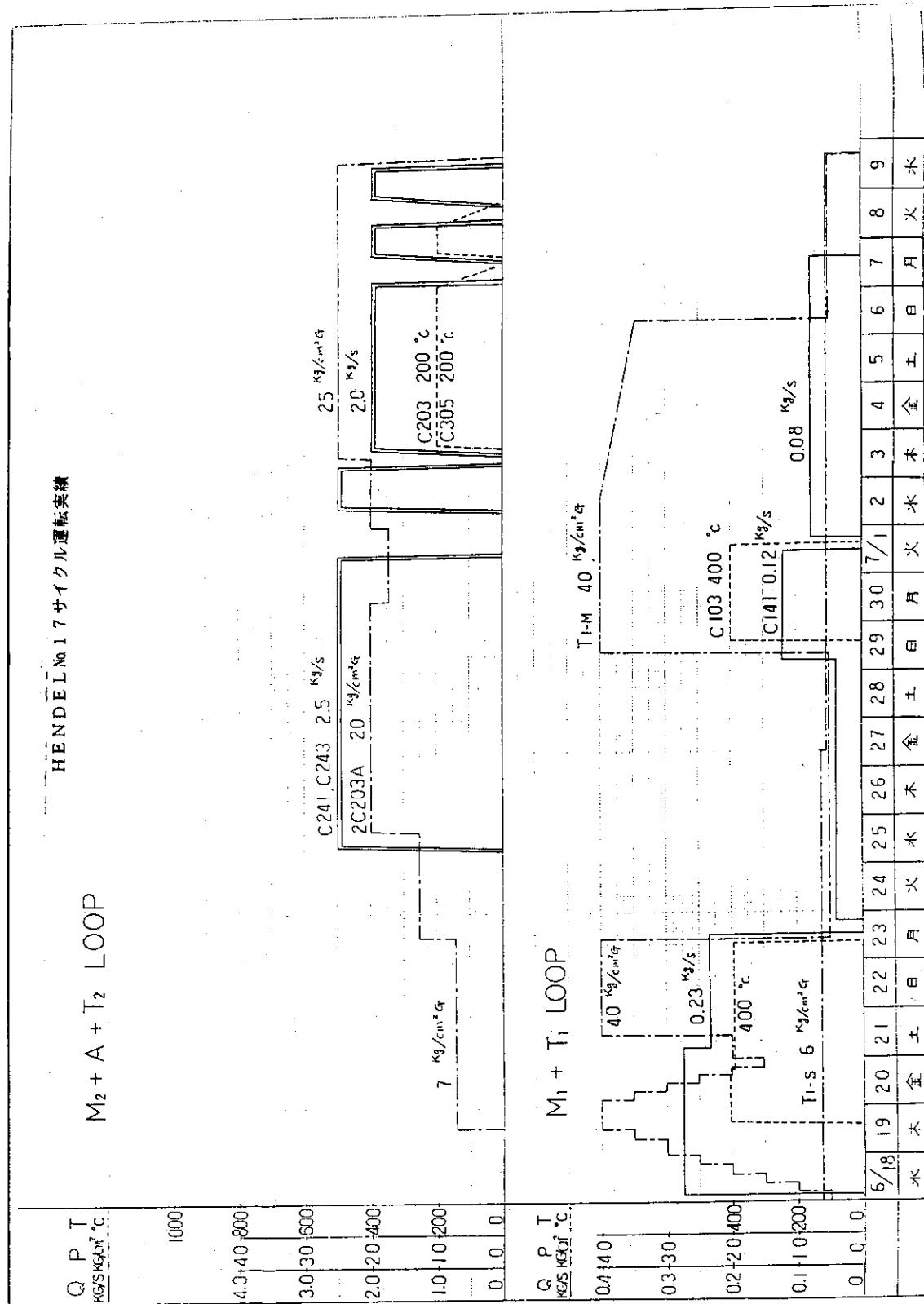


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (18/71)

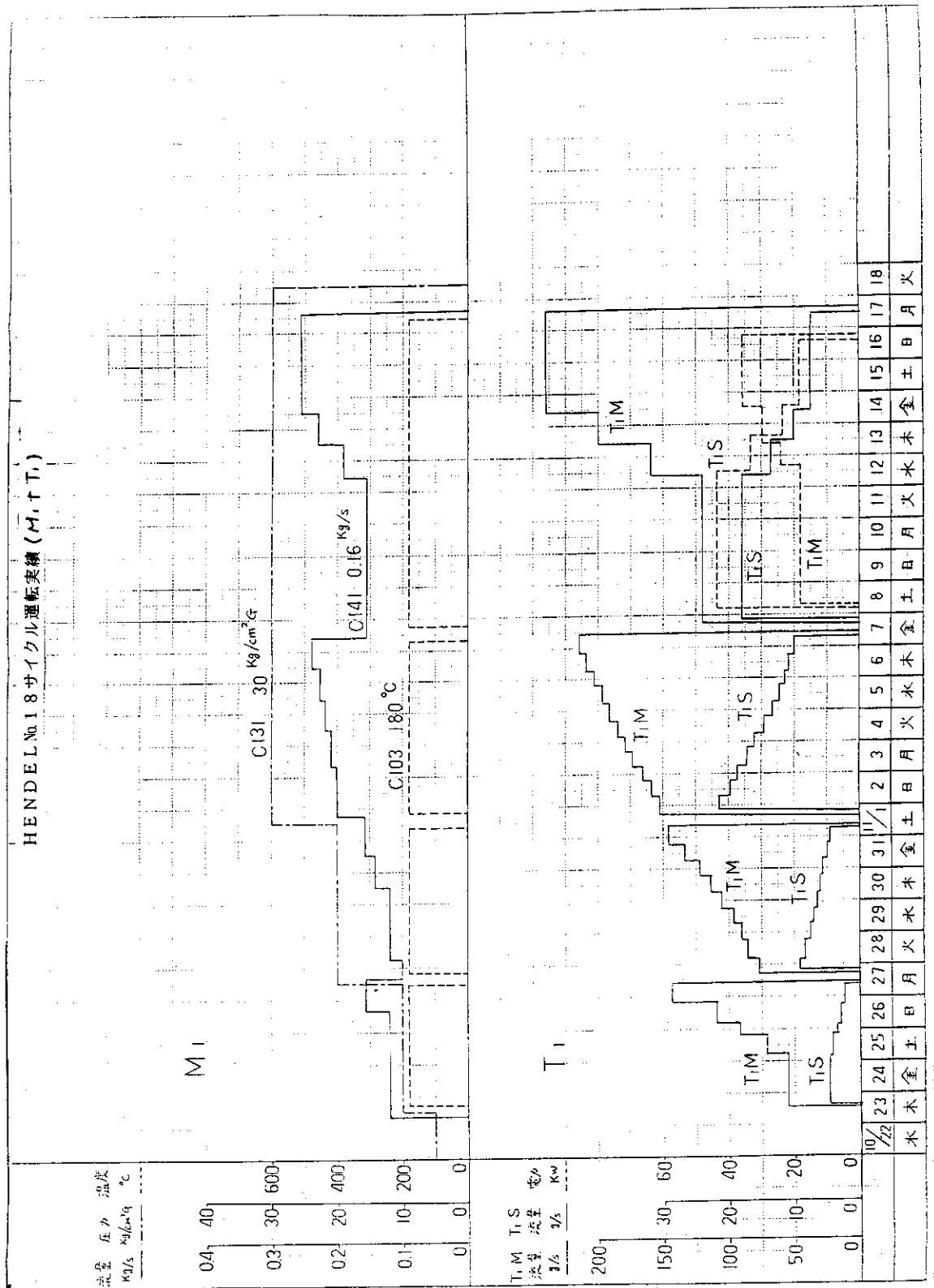


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (19/71)

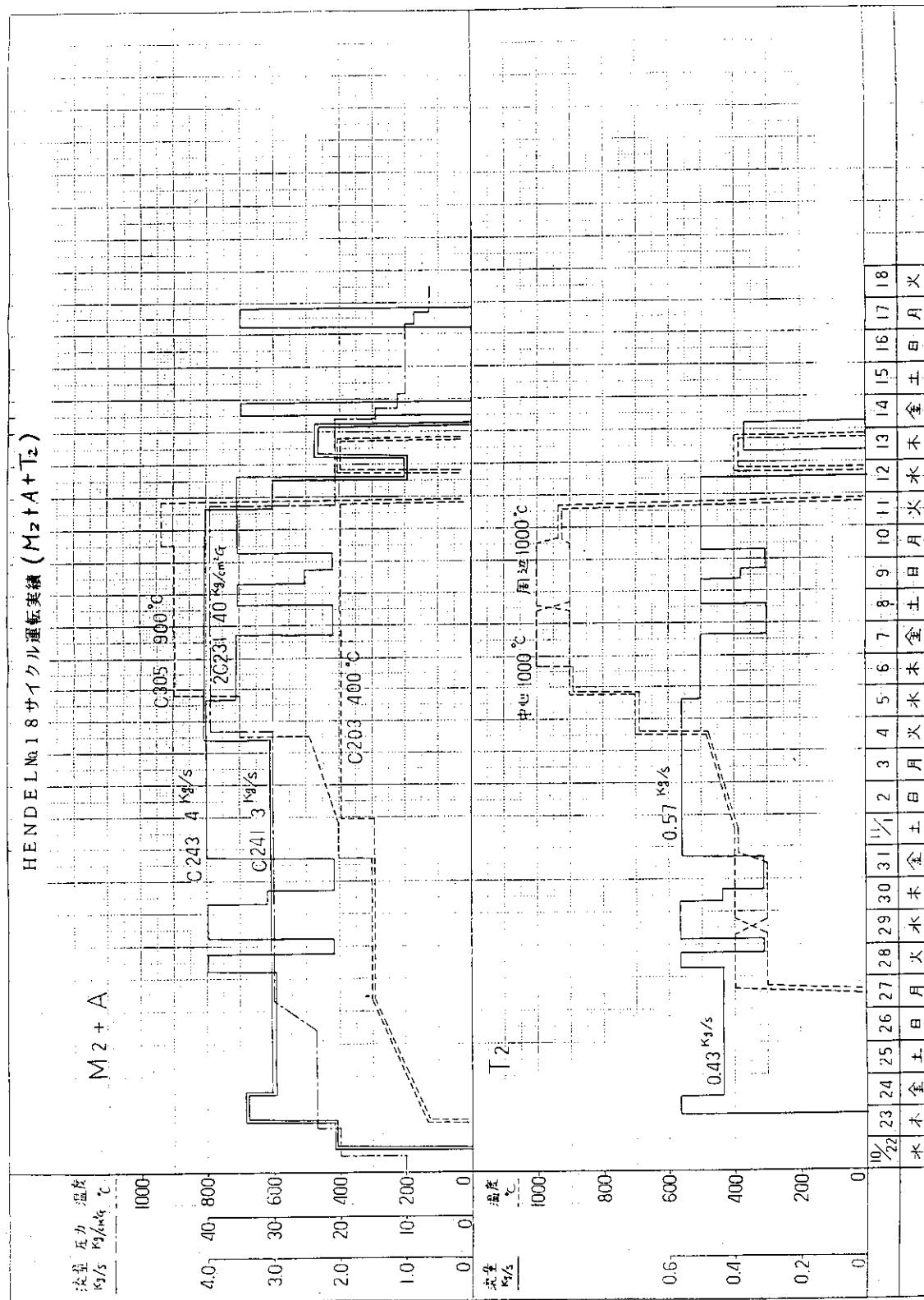


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (20/71)

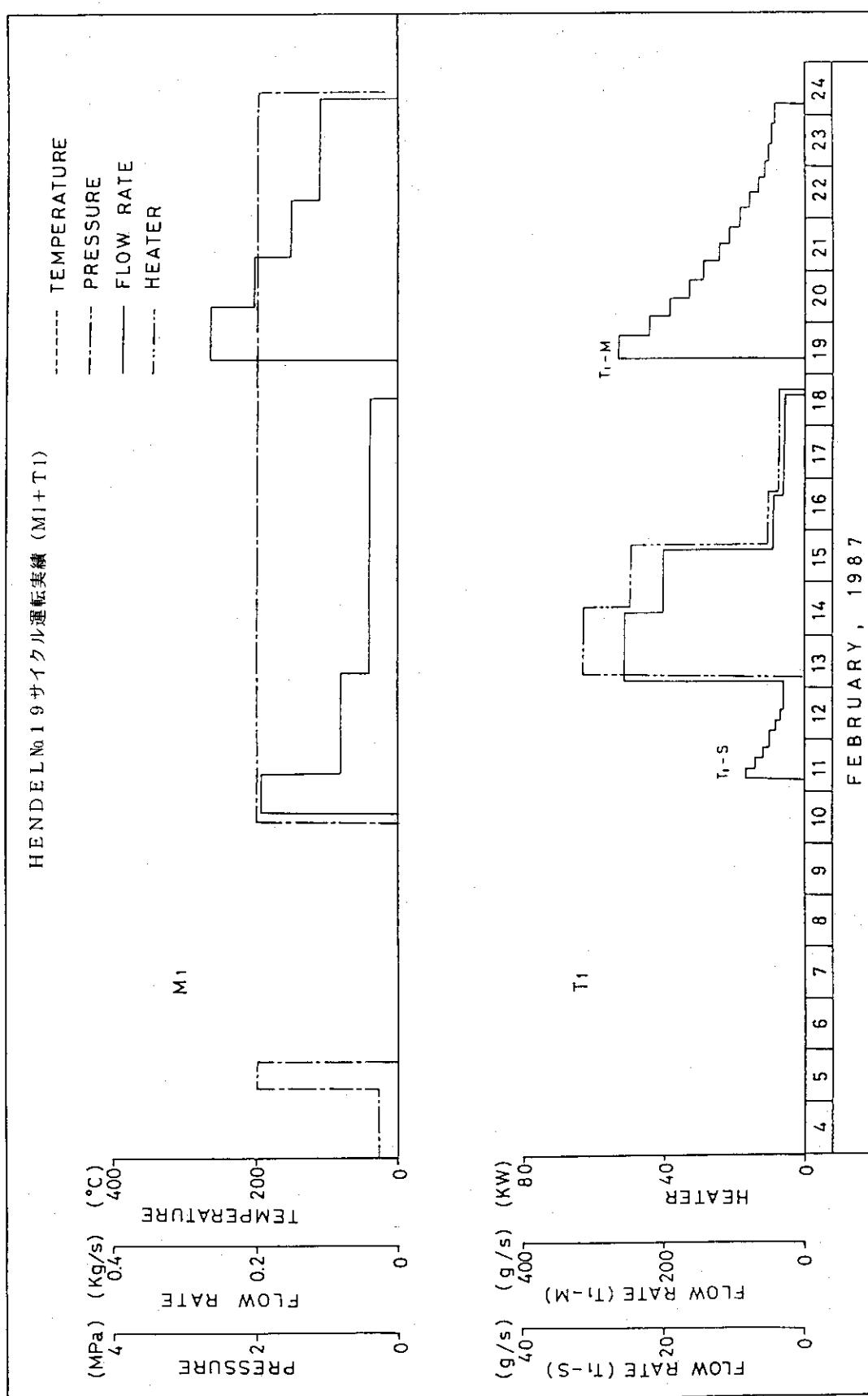


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (21/71)

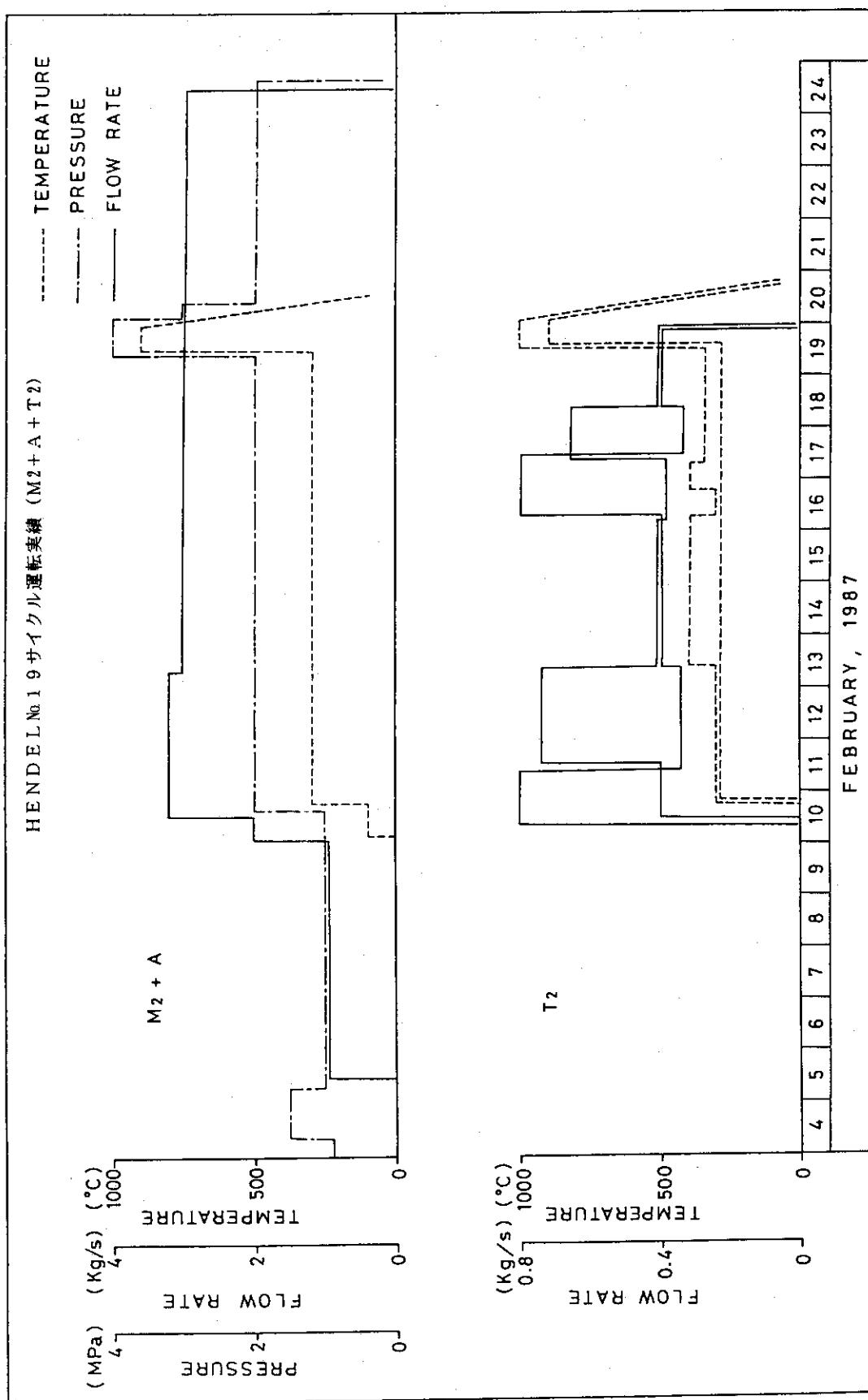


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (22/71)

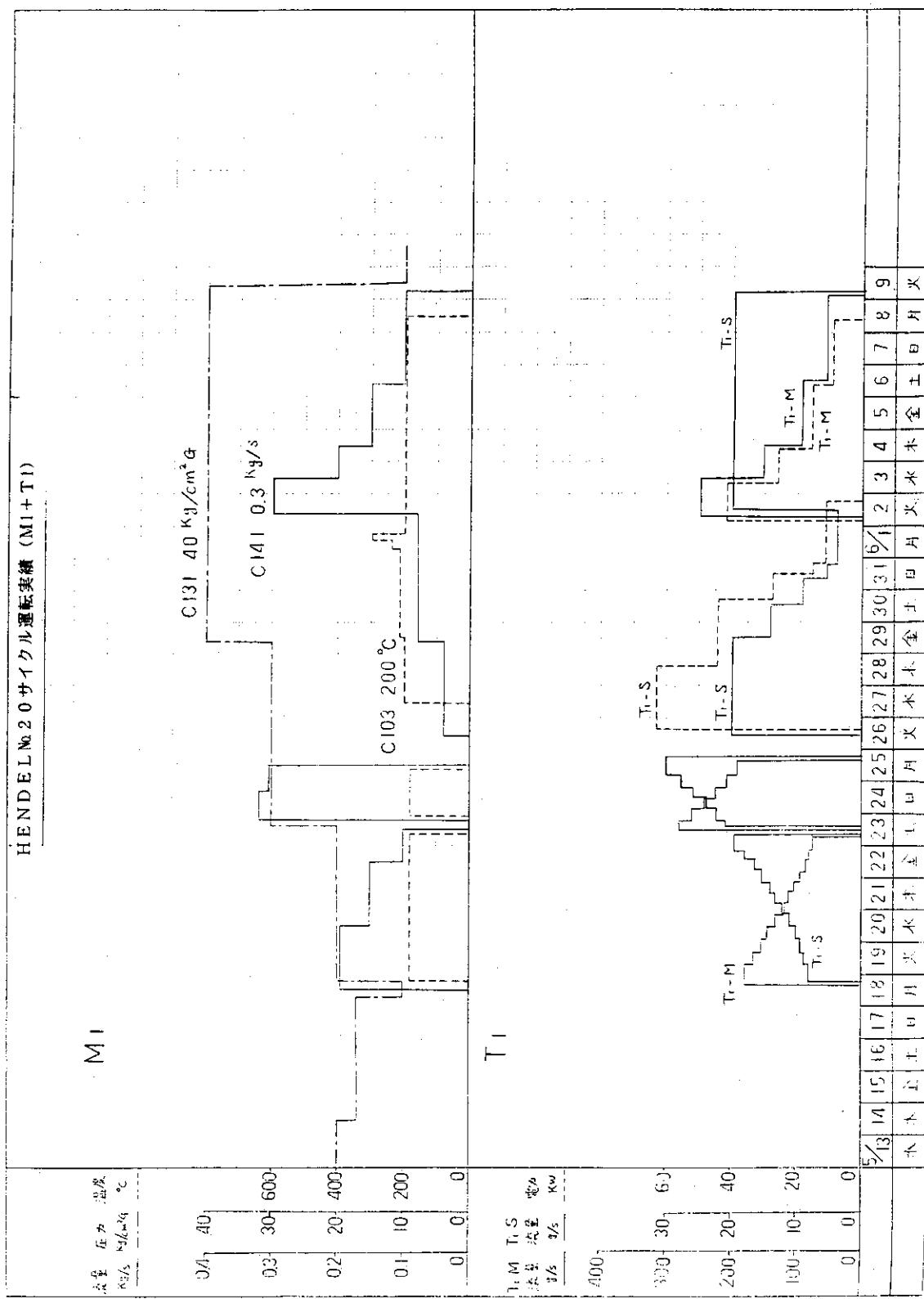


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (23/71)

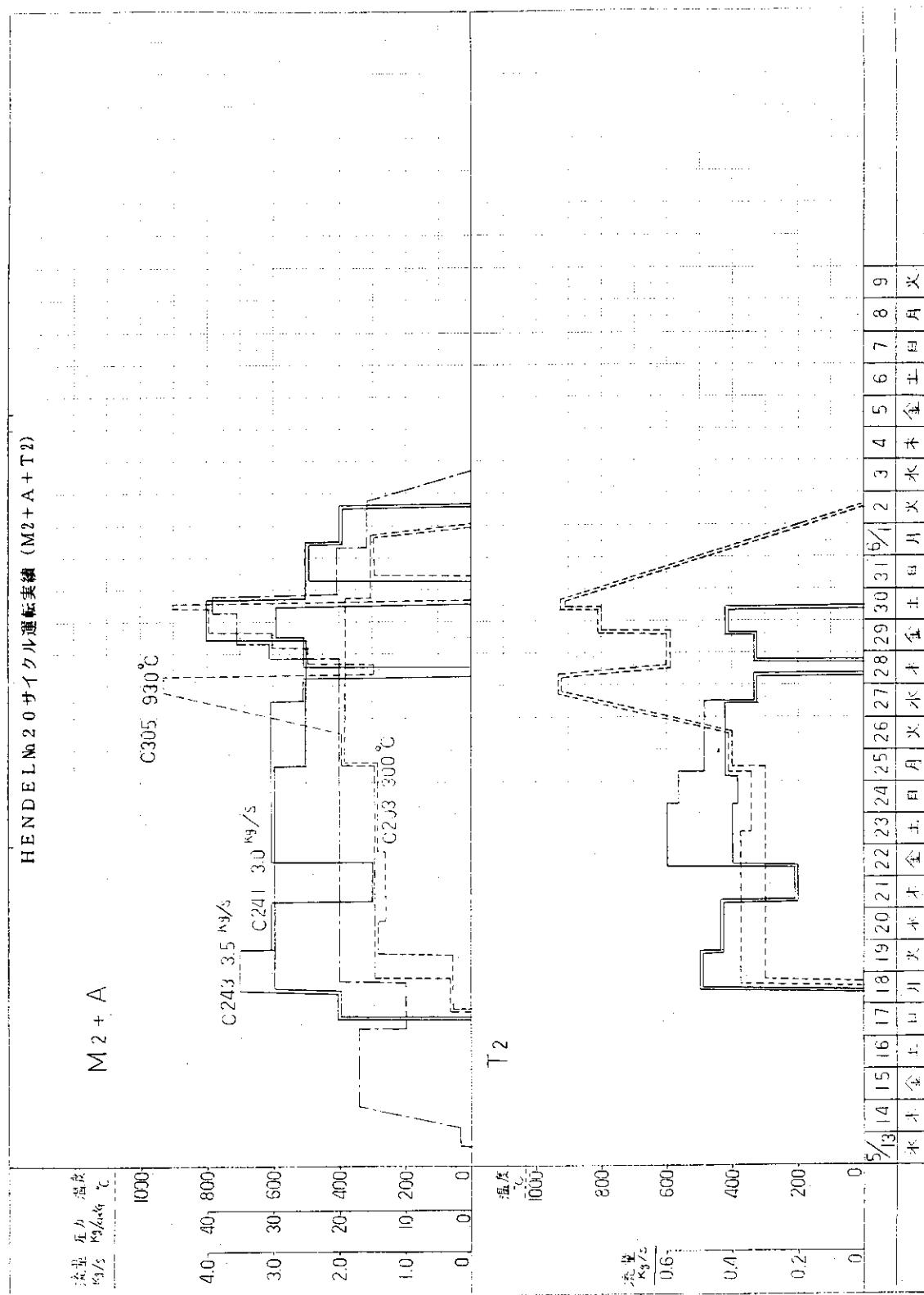


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (24/71)

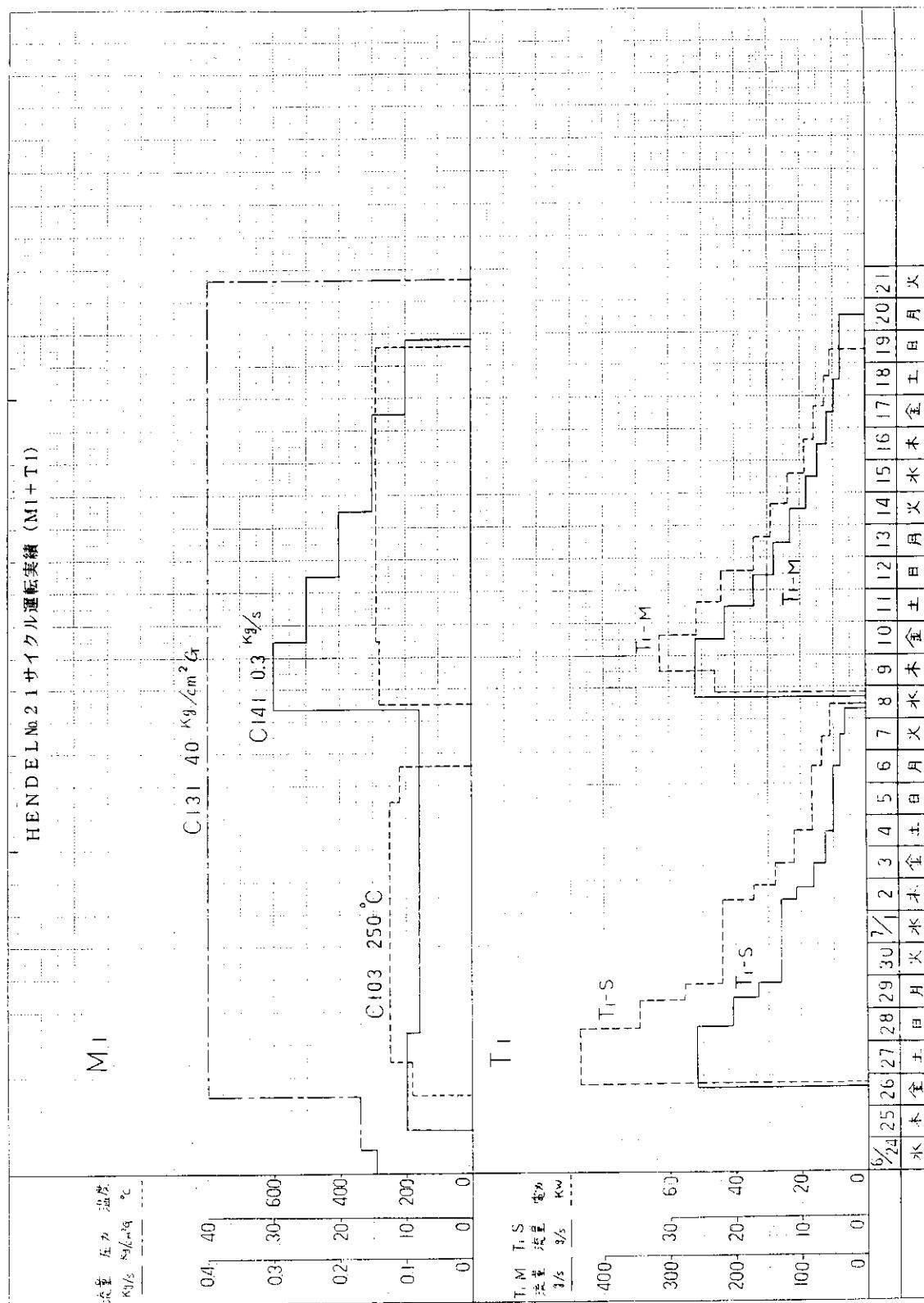


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (25/71)

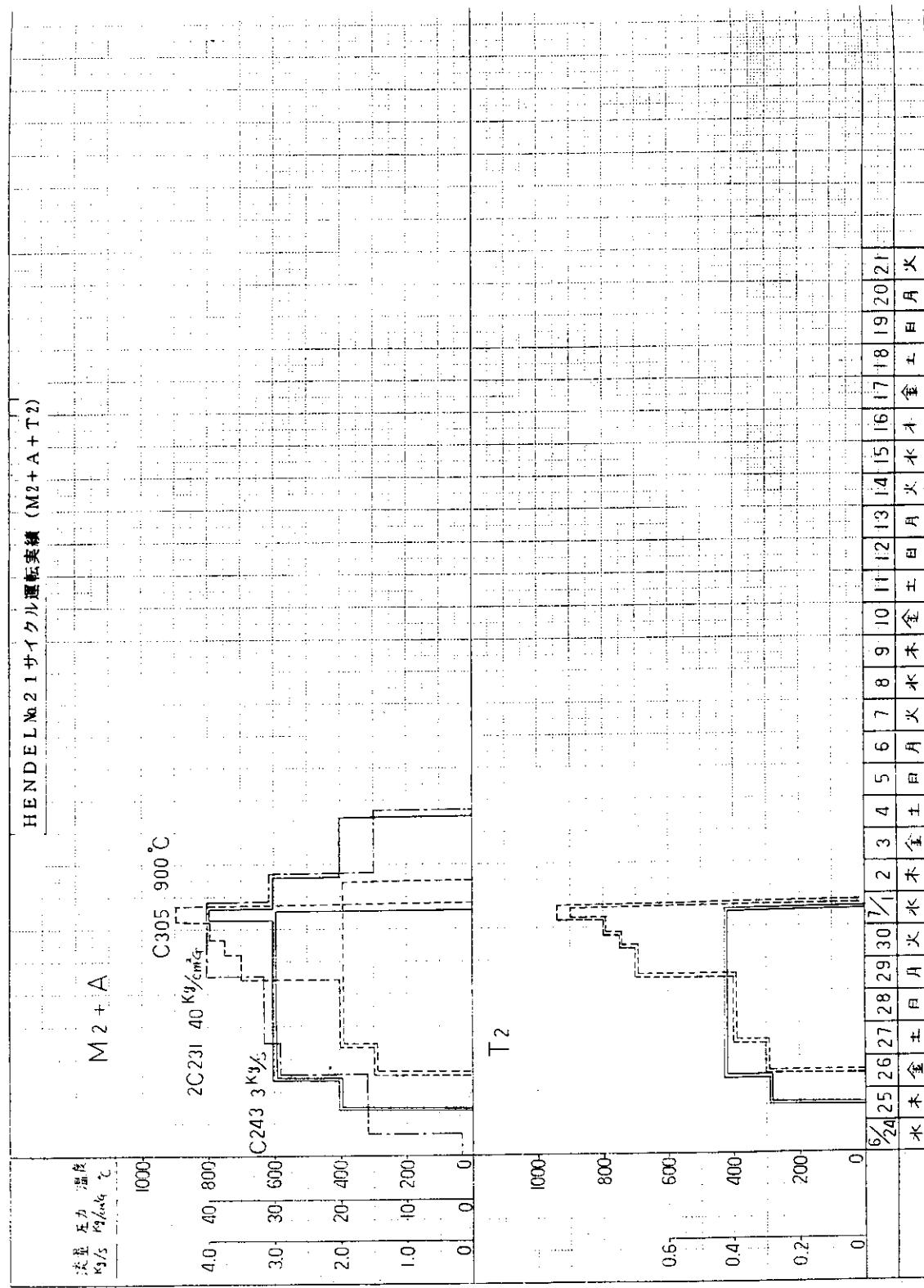


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (26/71)

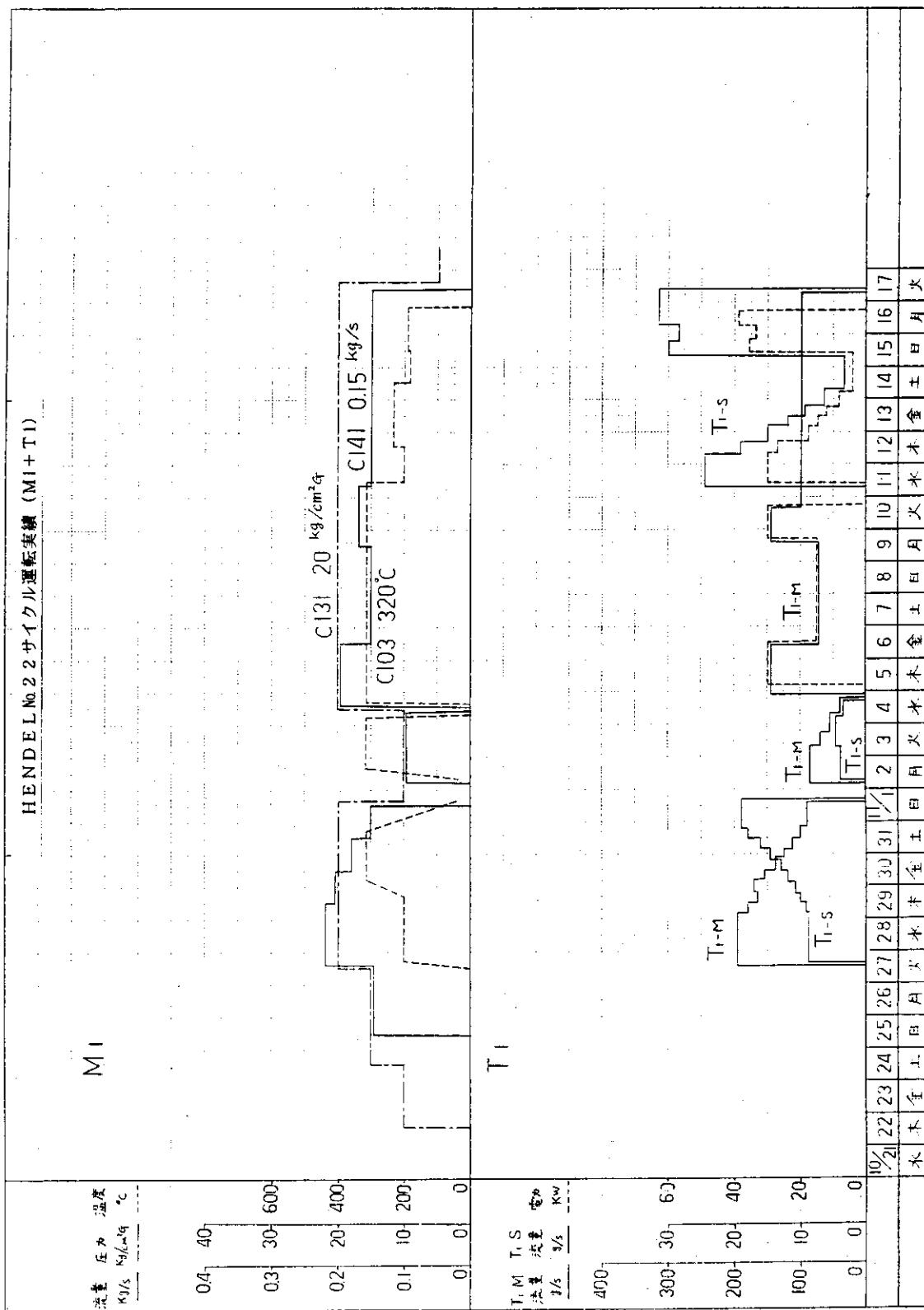


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (27/71)

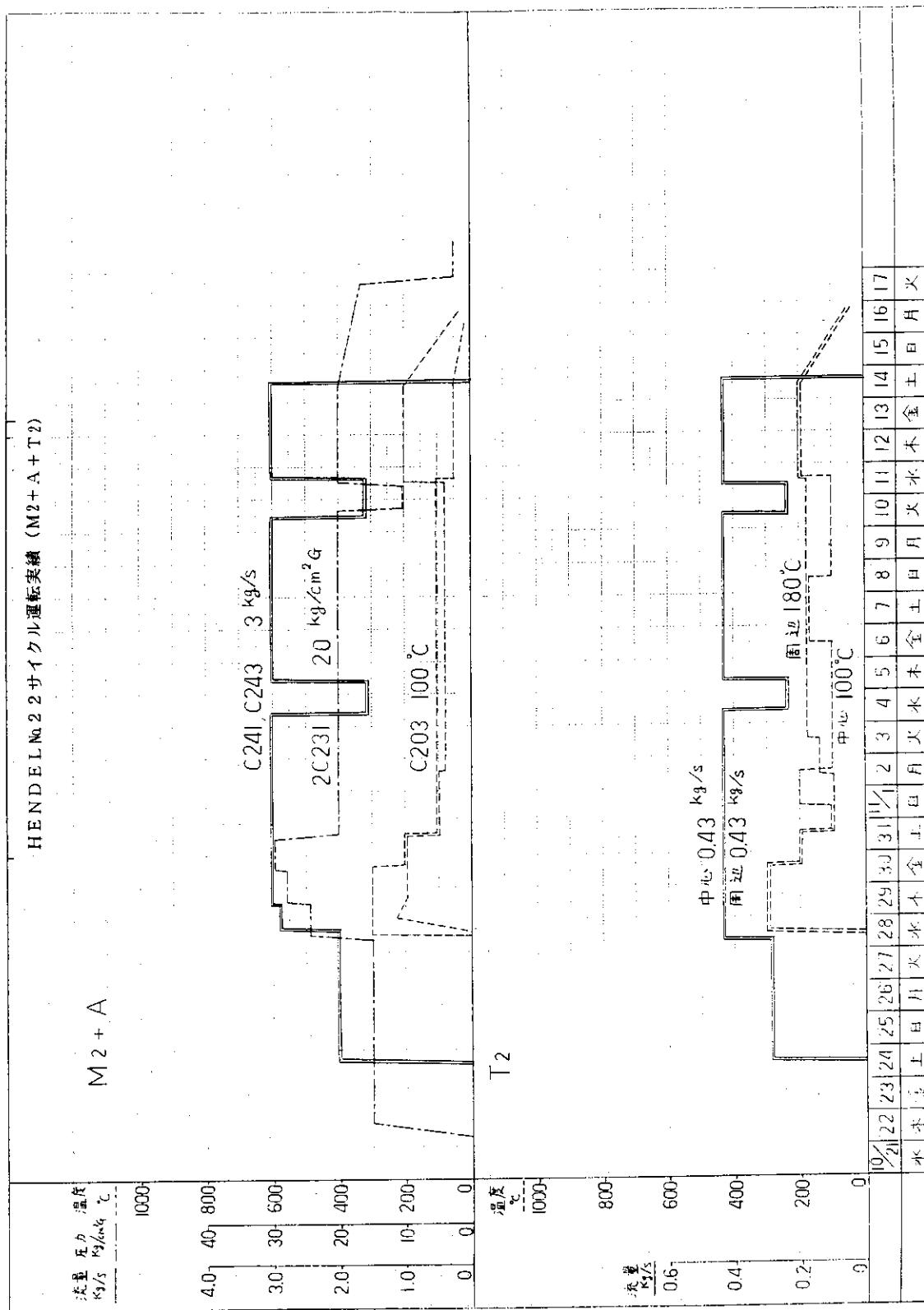


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (28/71)

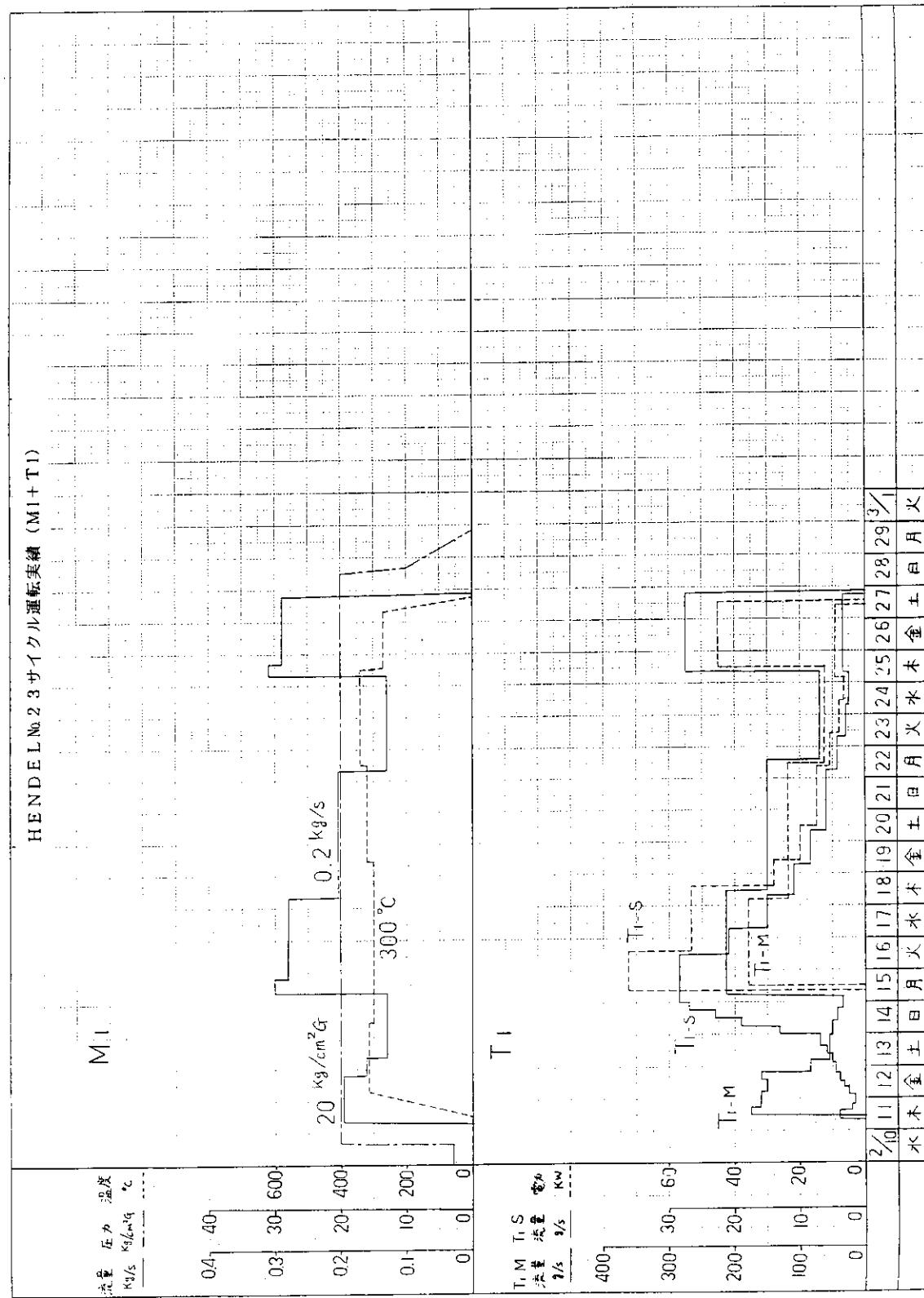


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (29/71)

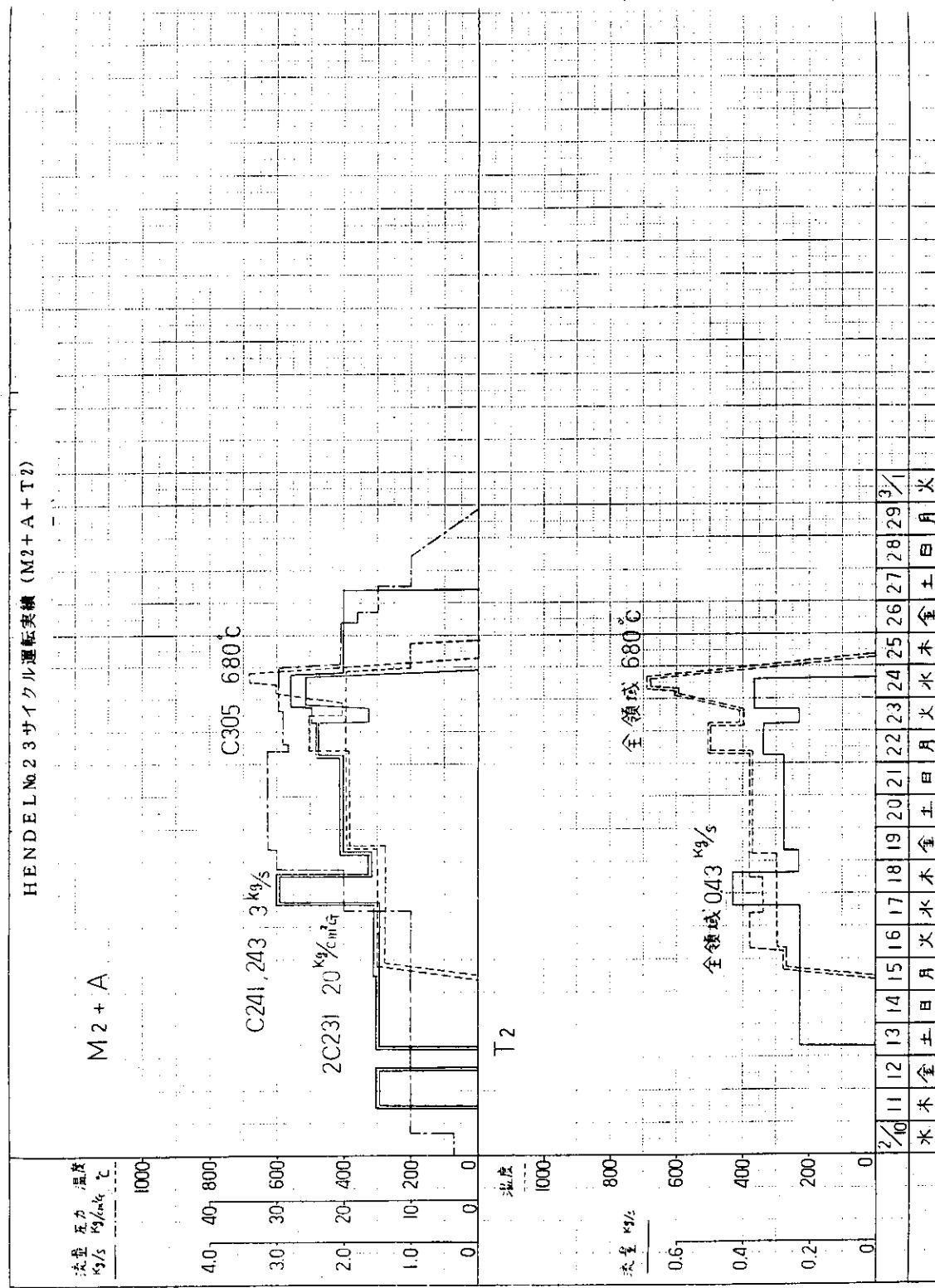


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (30/71)

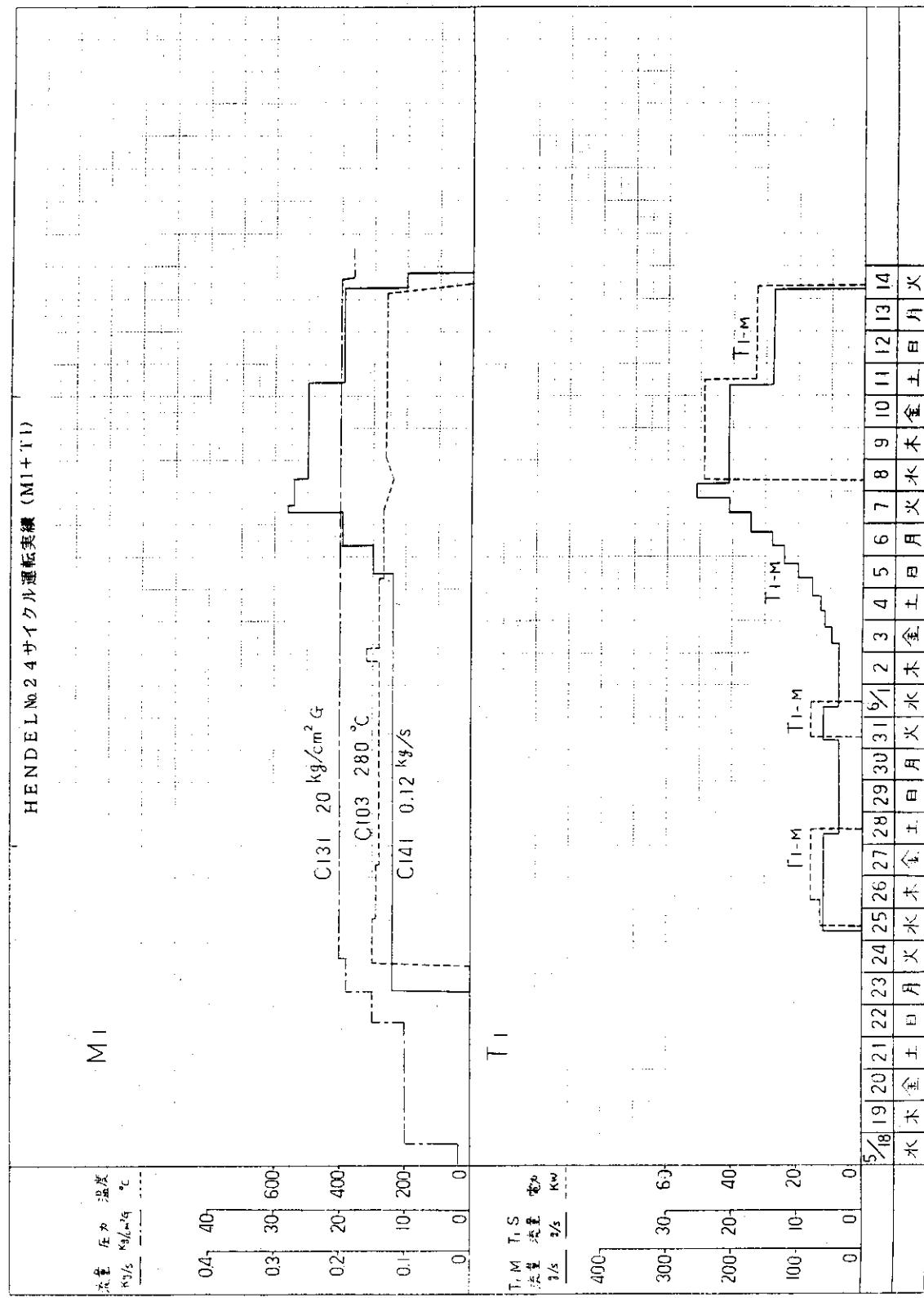


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (31/71)

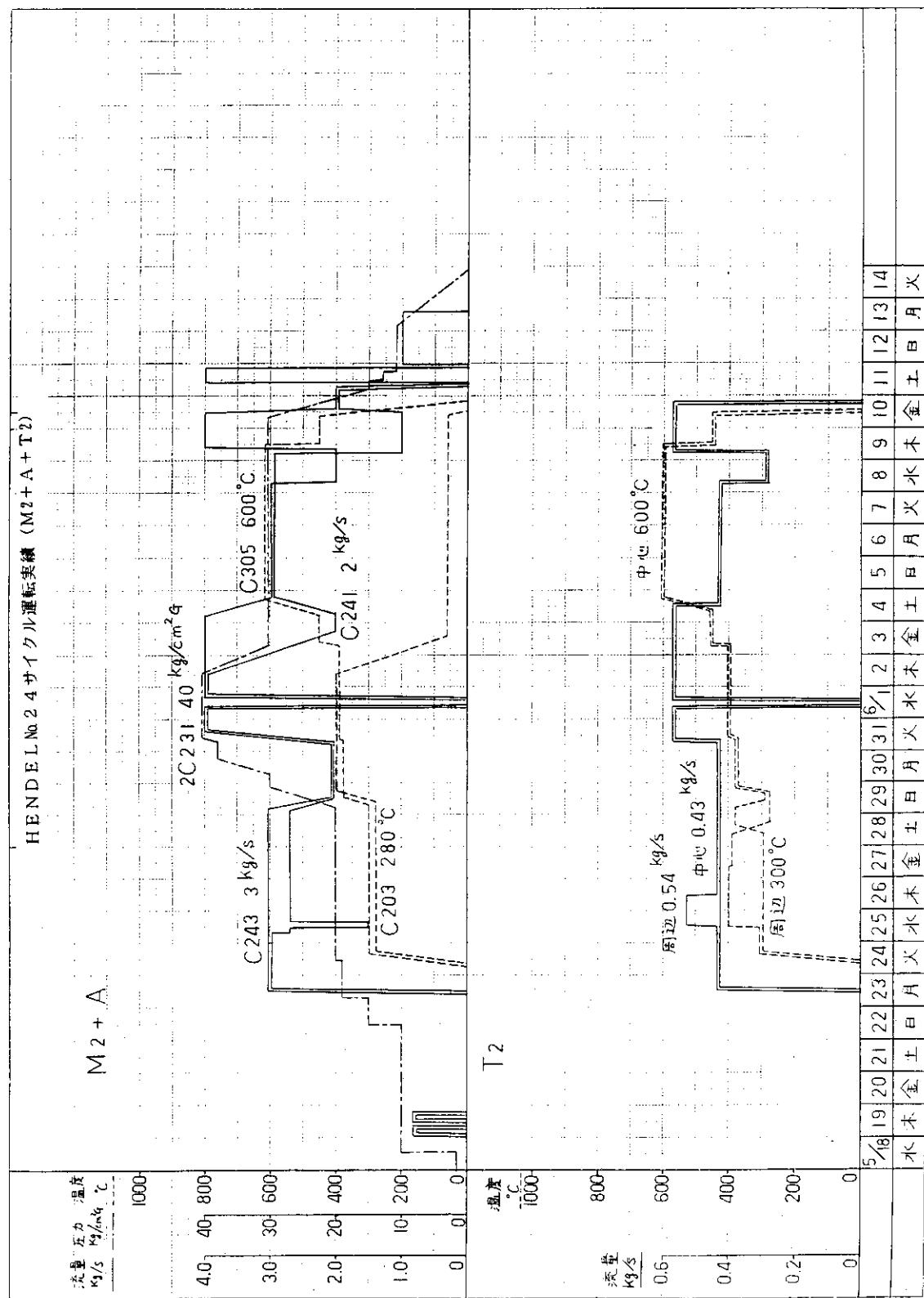


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (32/71)

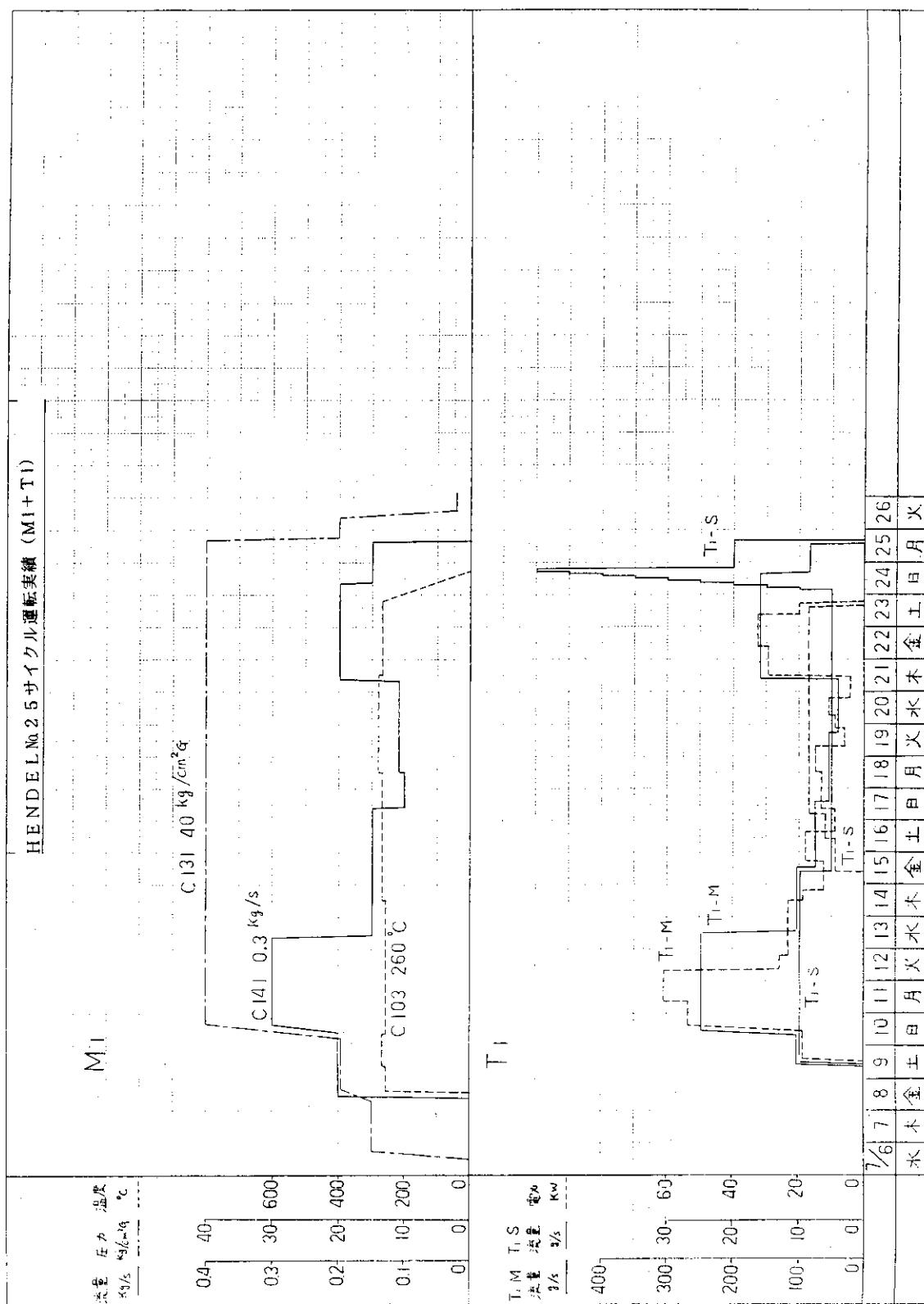


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (33/71)

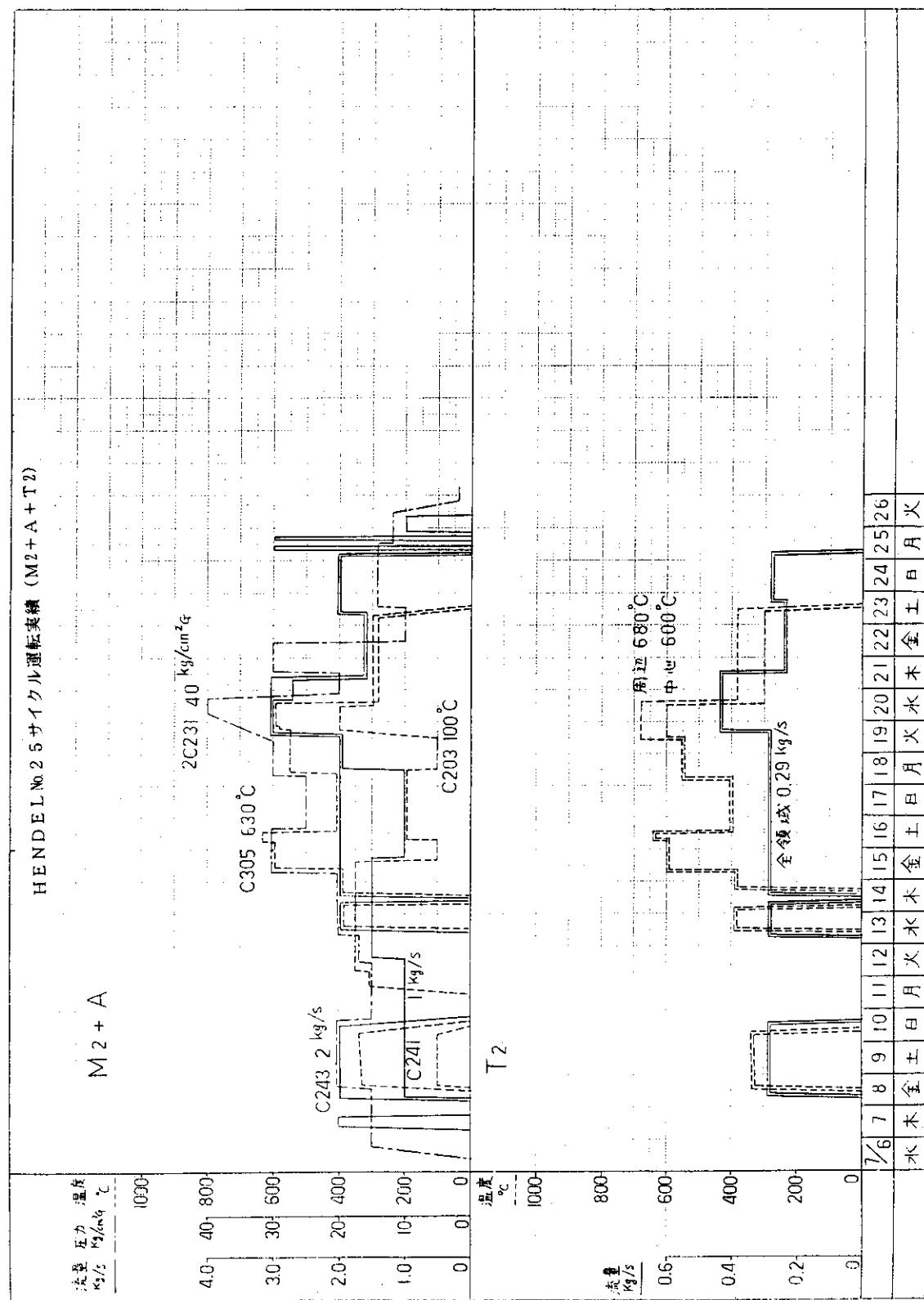


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (34/71)

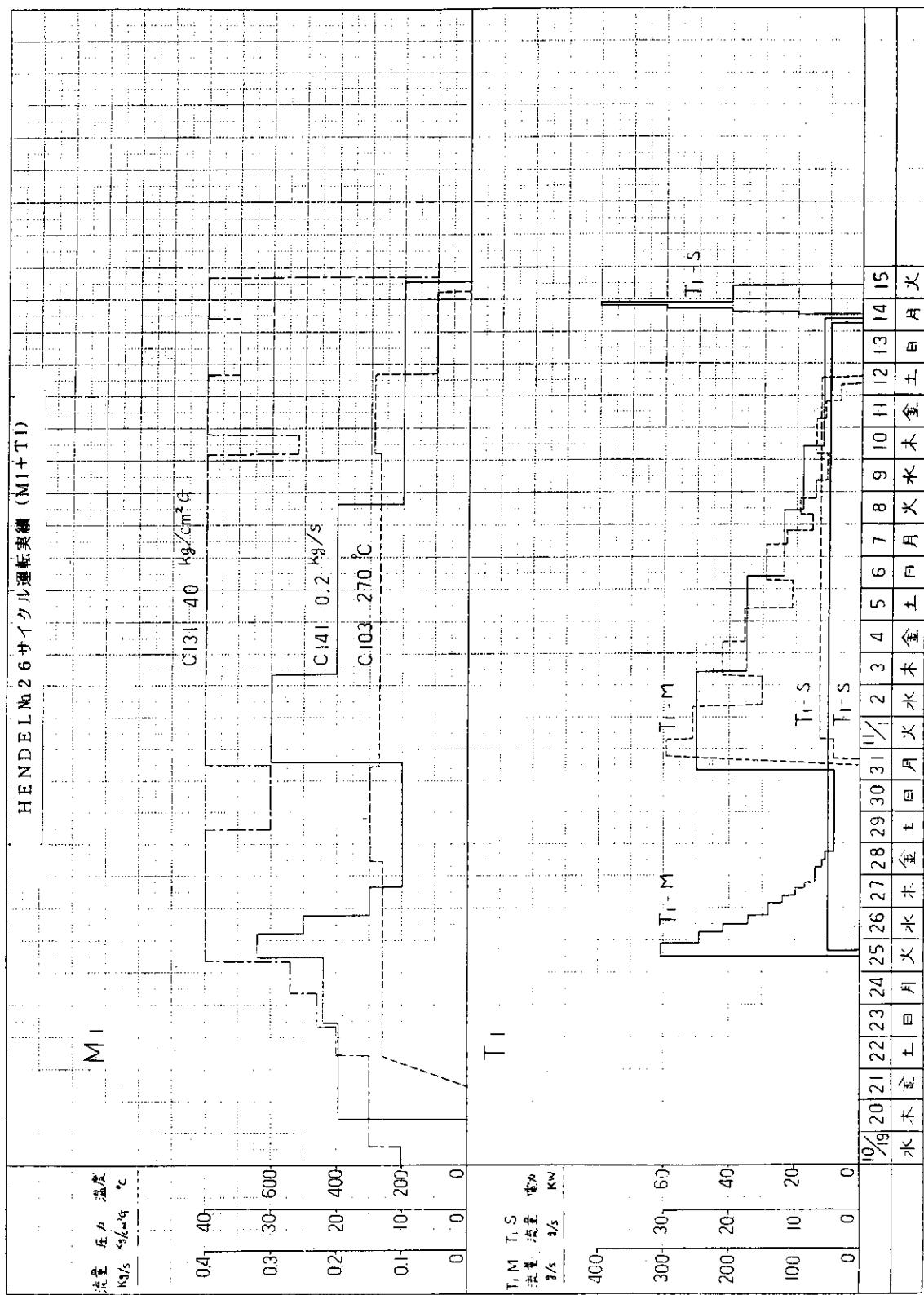


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (35/71)

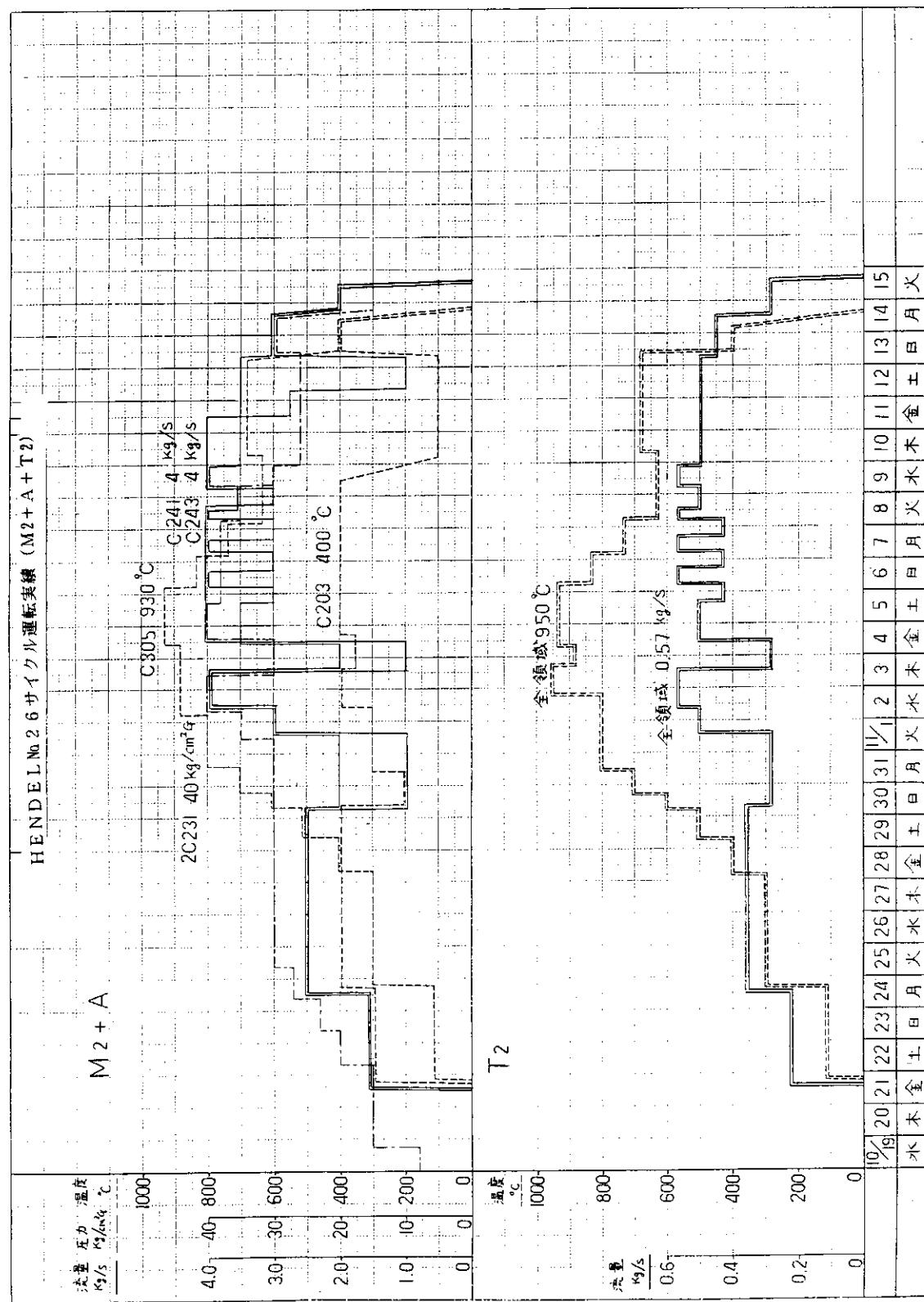


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (36/71)

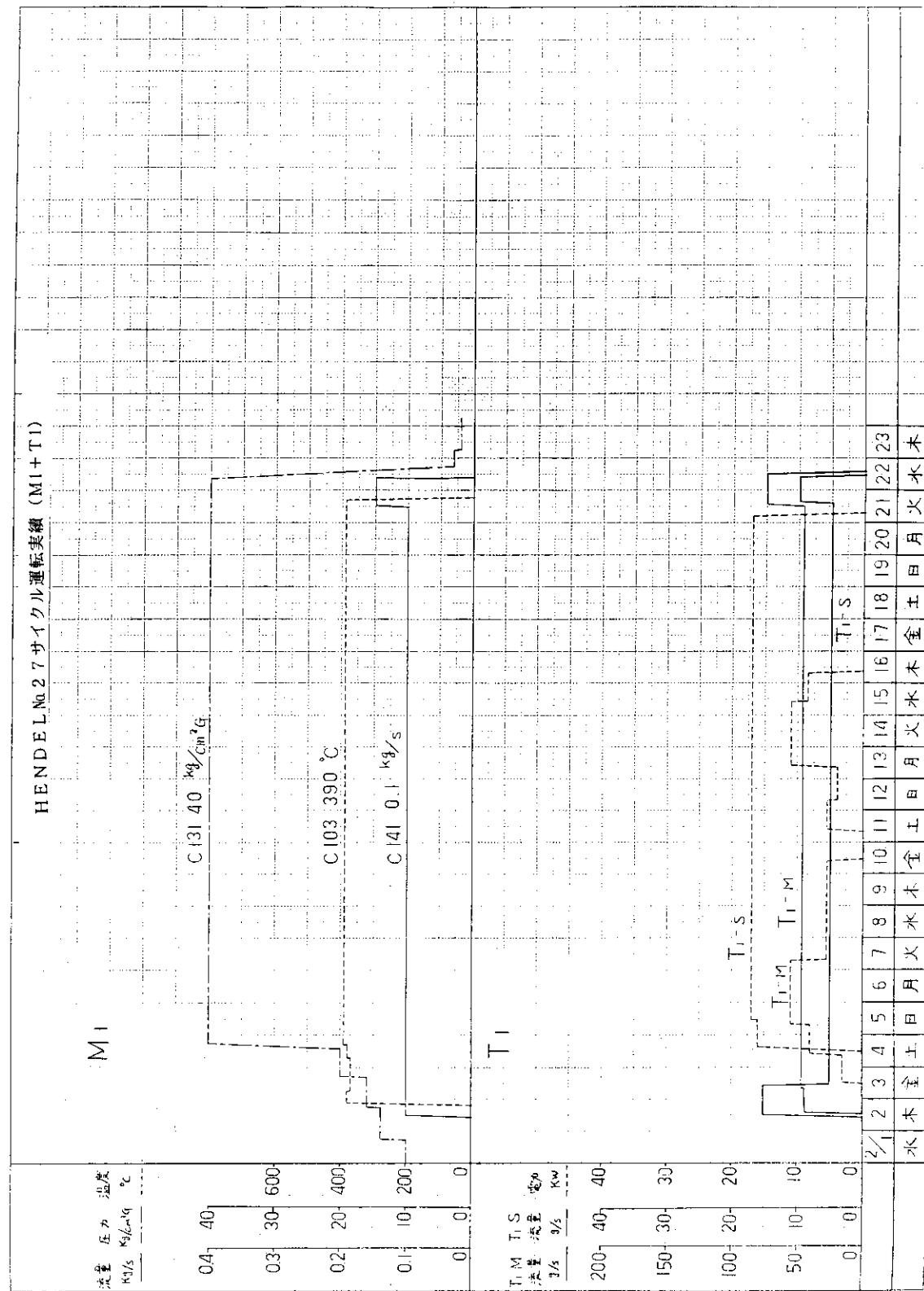


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (37/71)

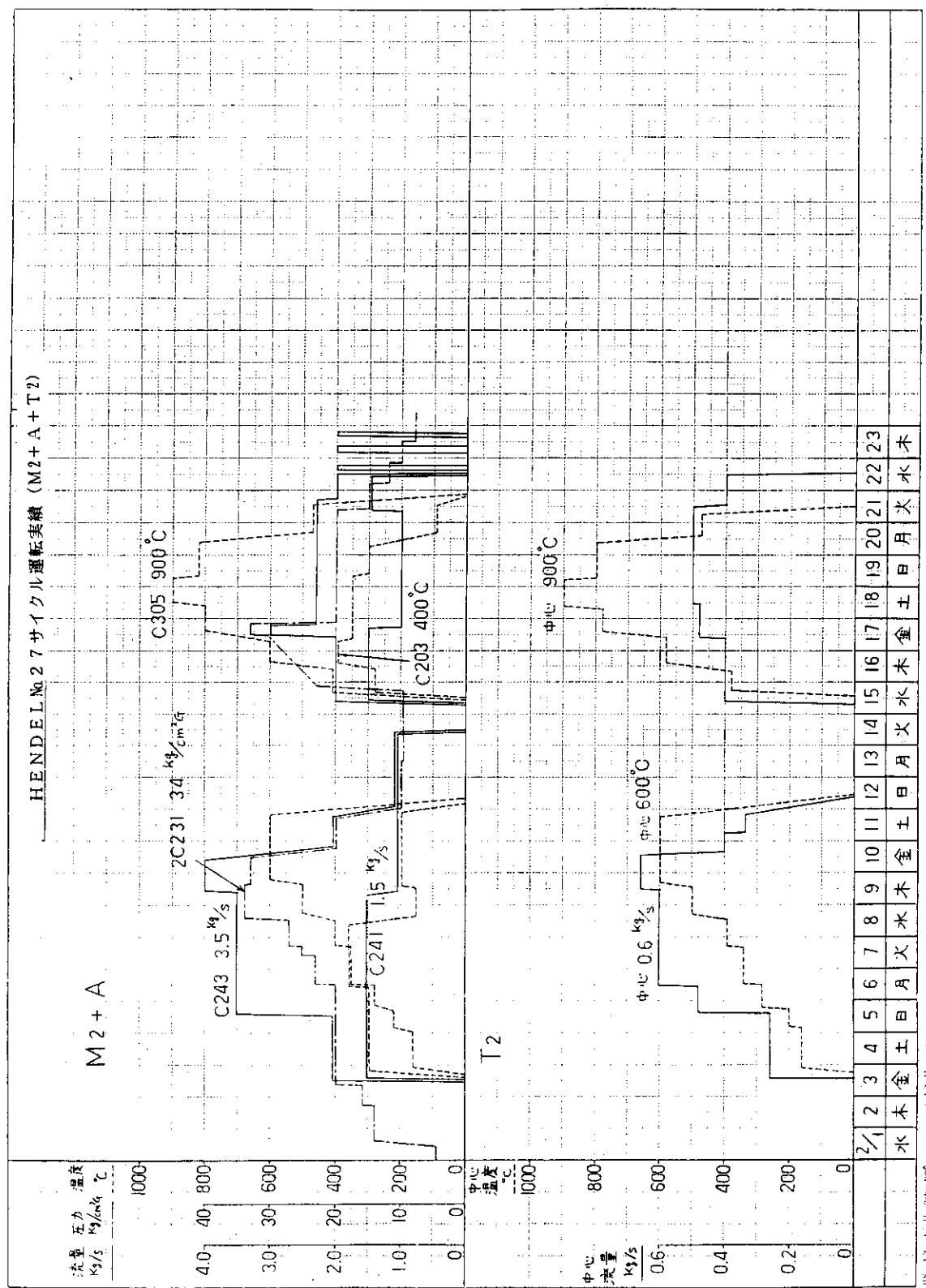


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (38/71)

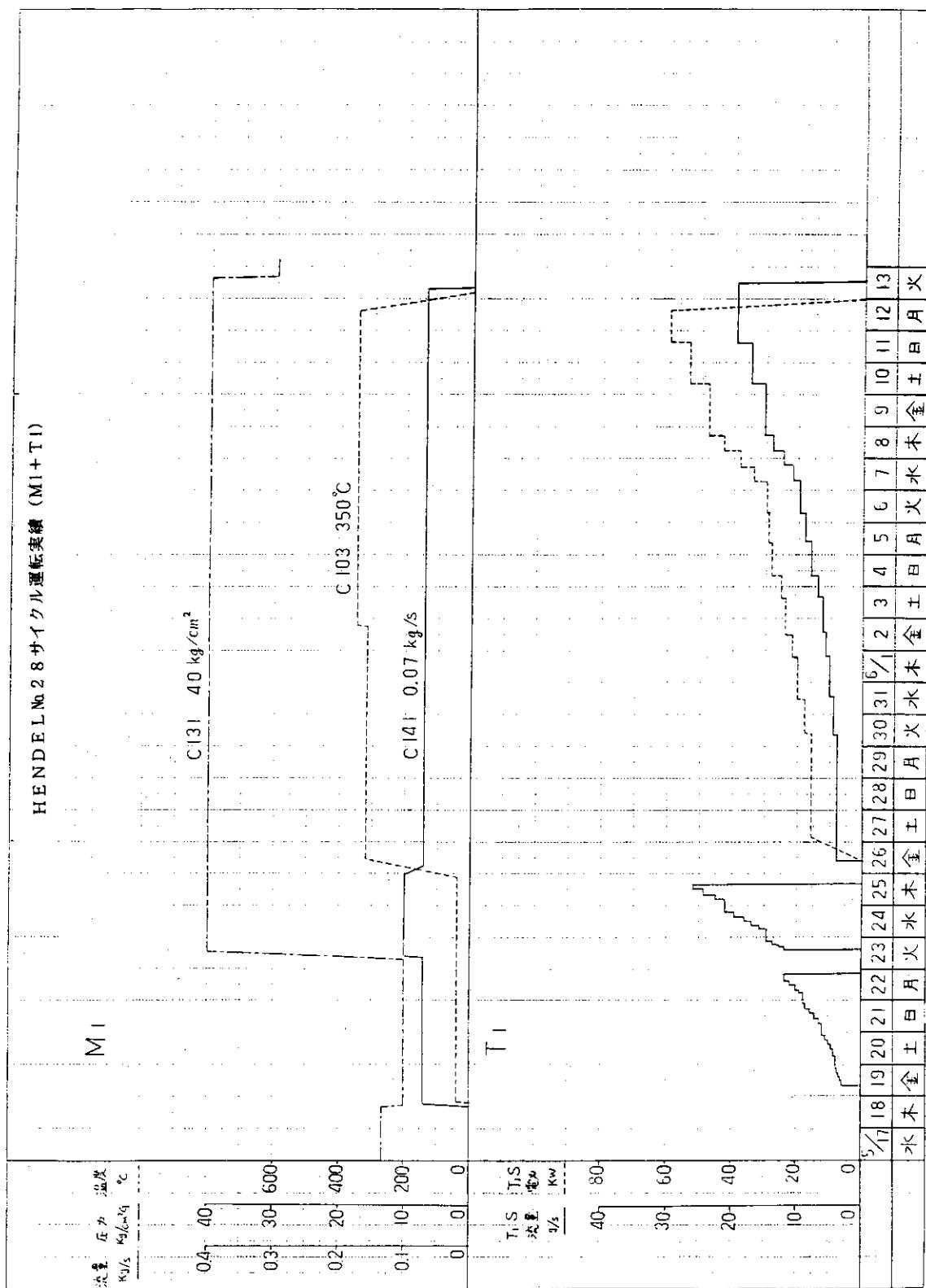


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (39/71)

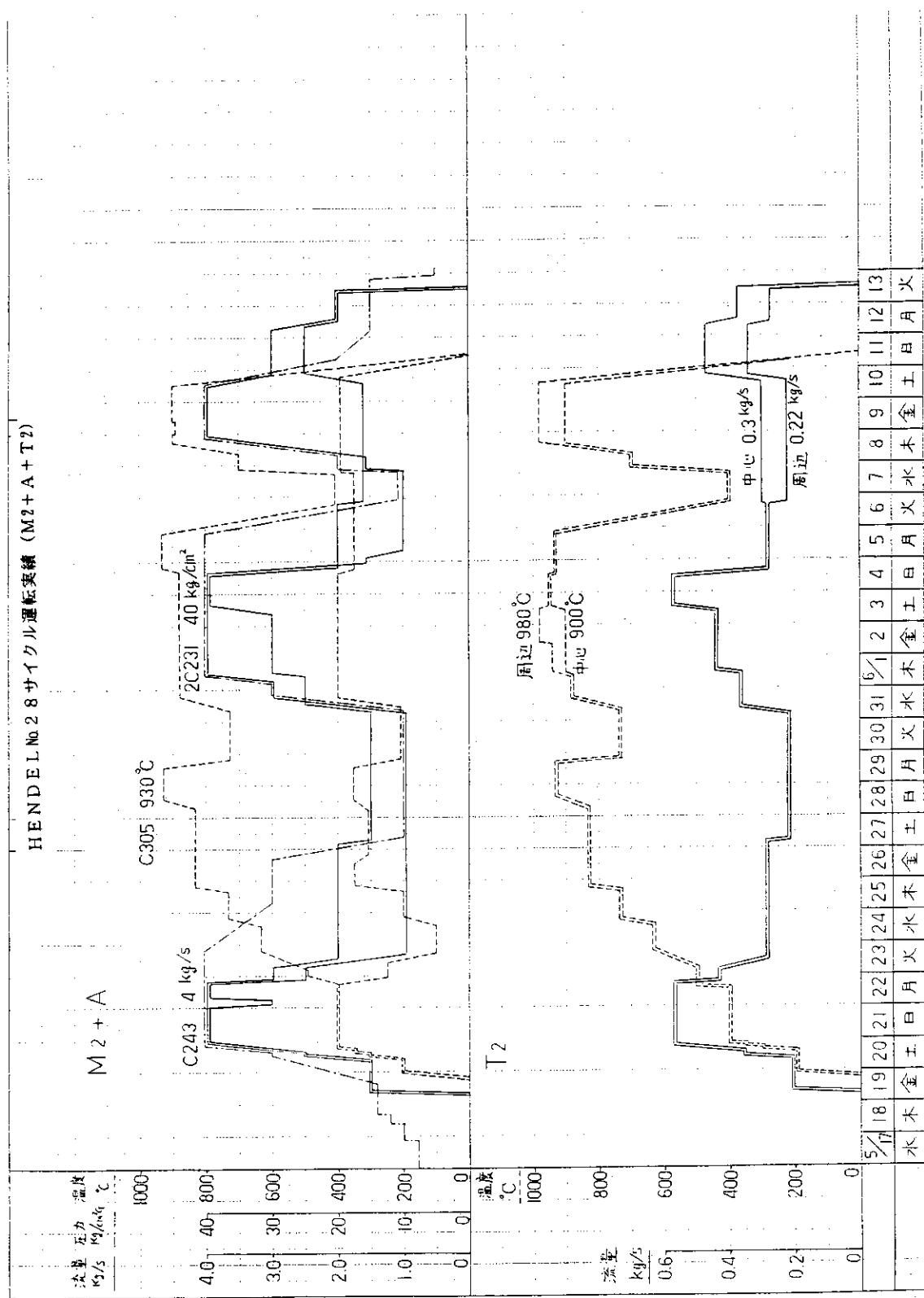


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (40/71)

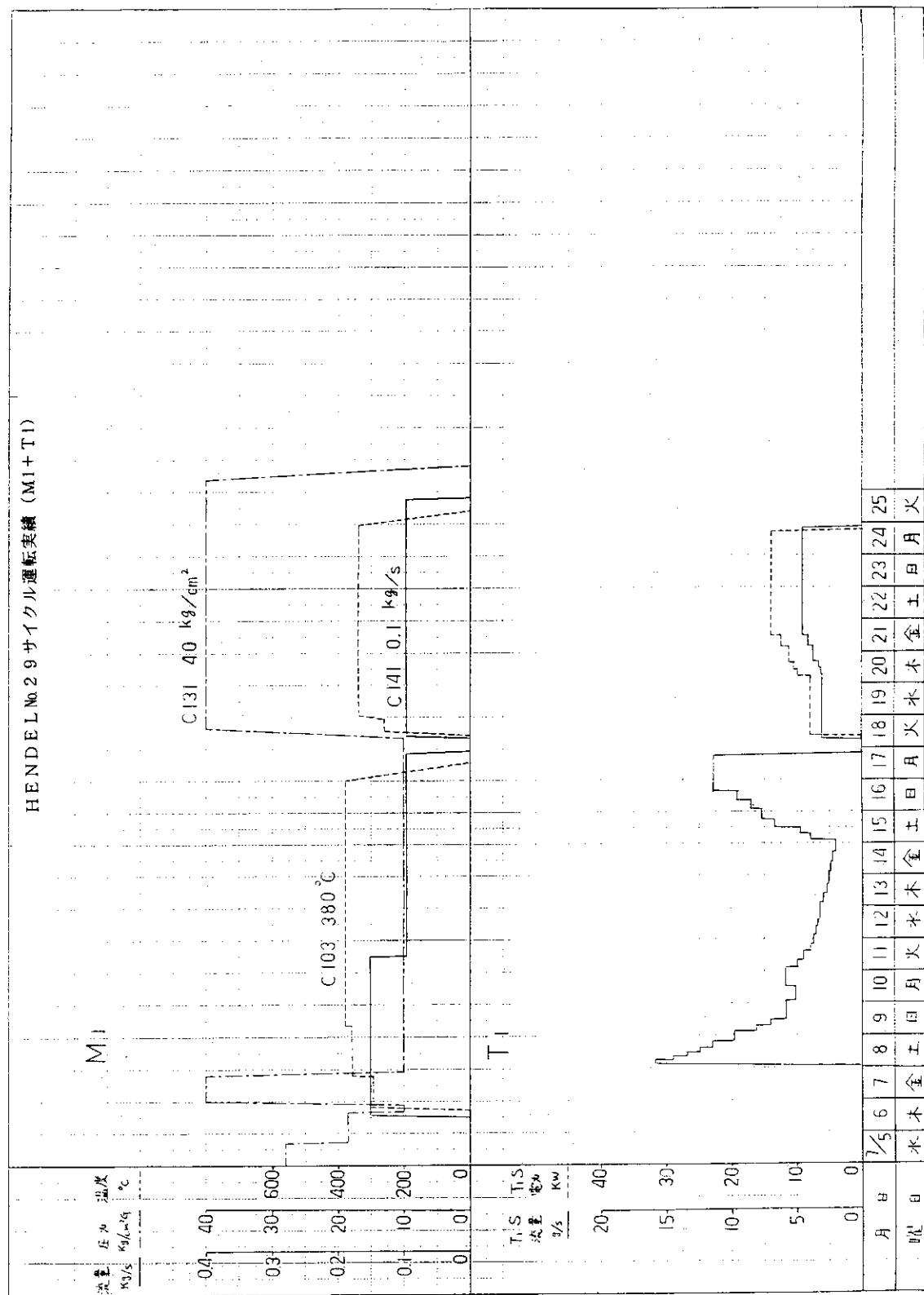


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (41/71)

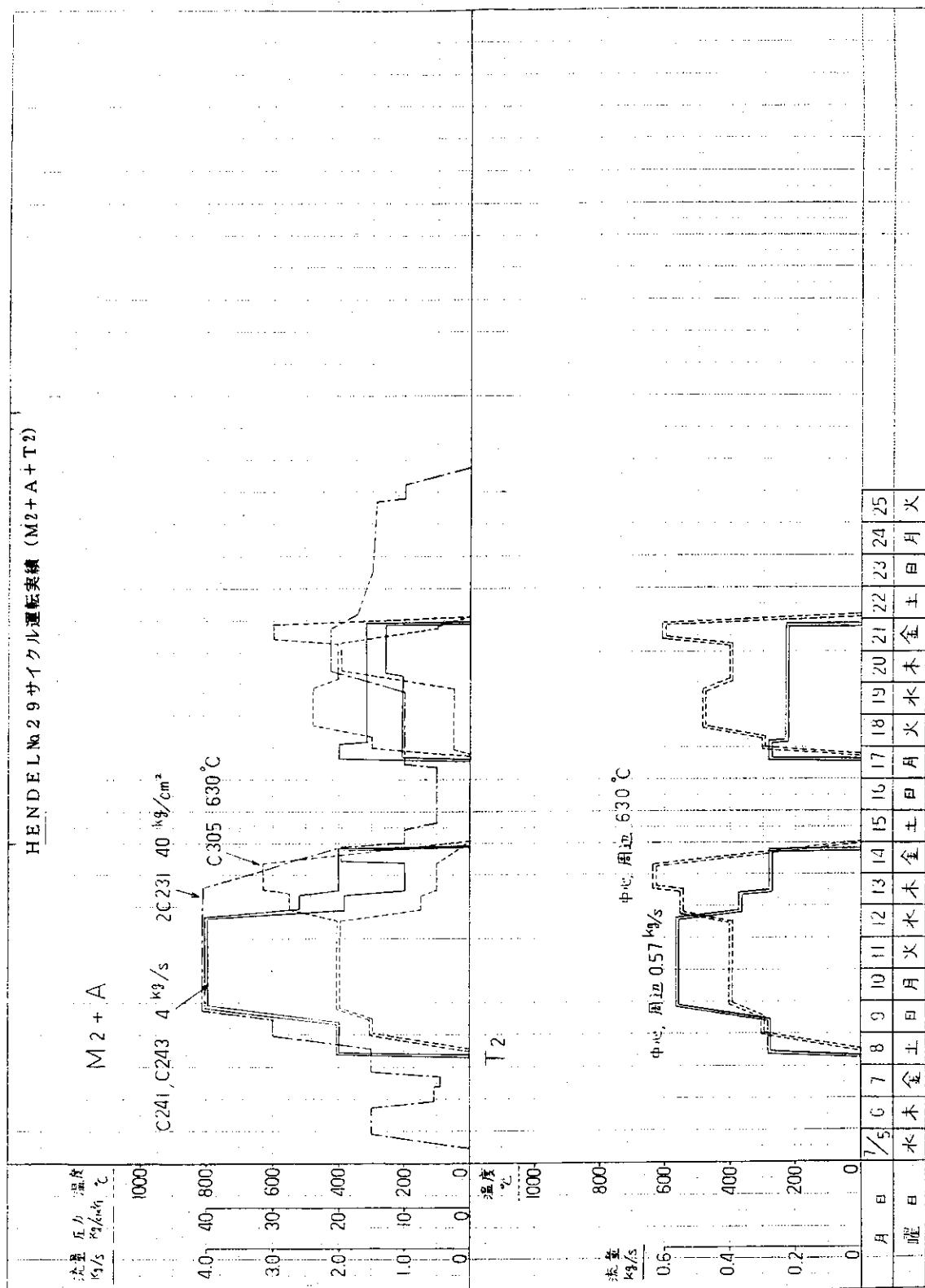


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (42/71)

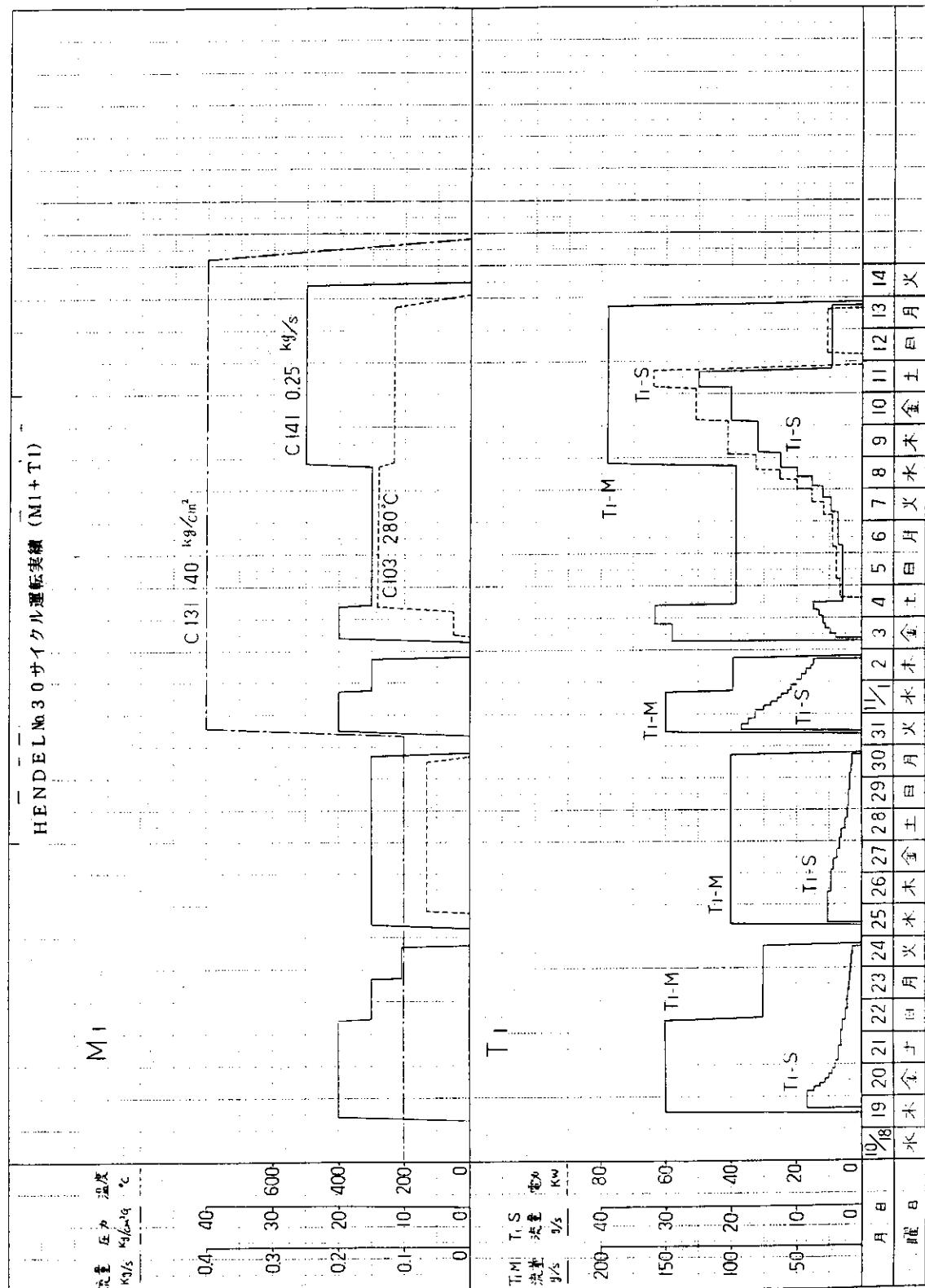


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (43/71)

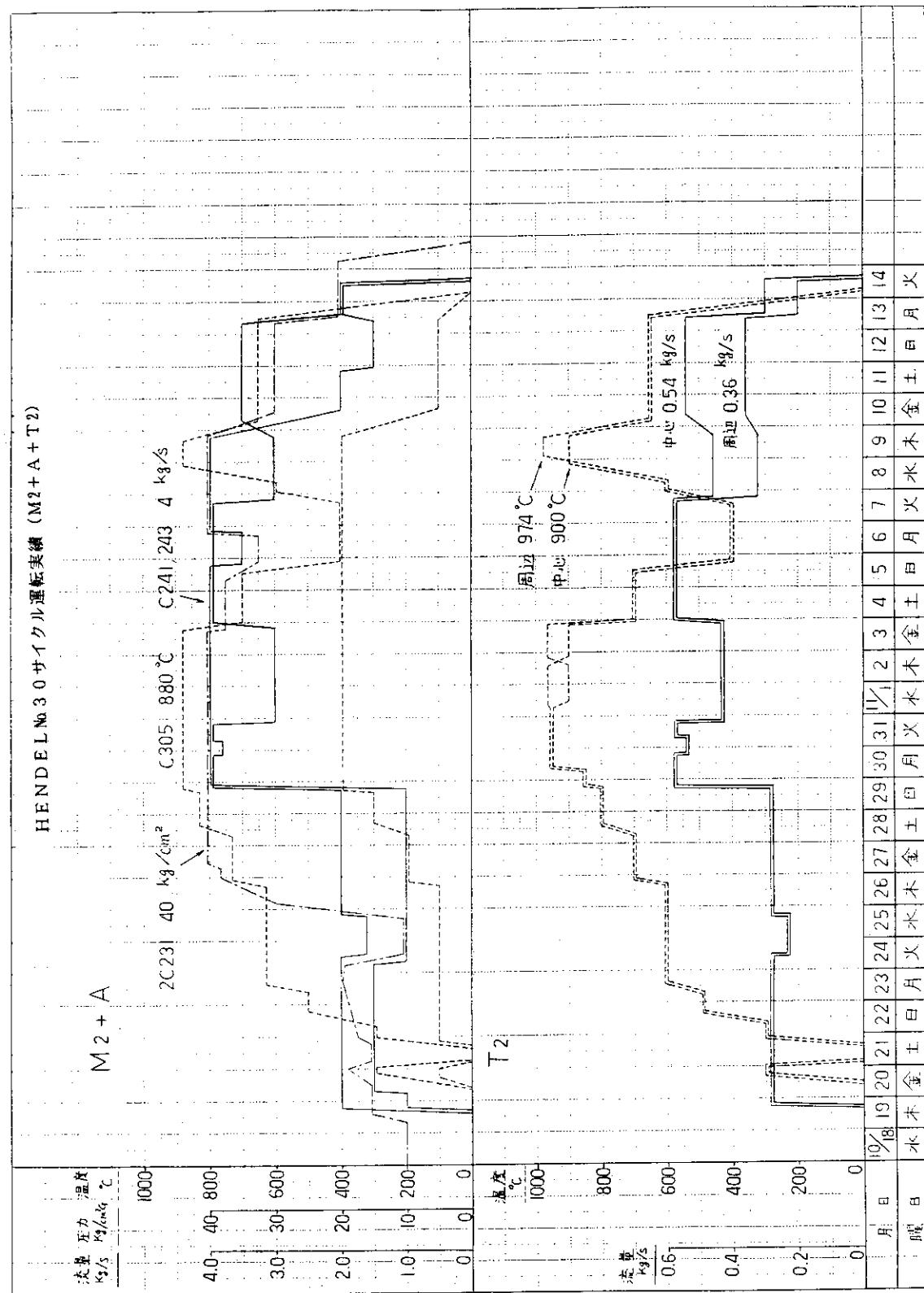


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (44/71)

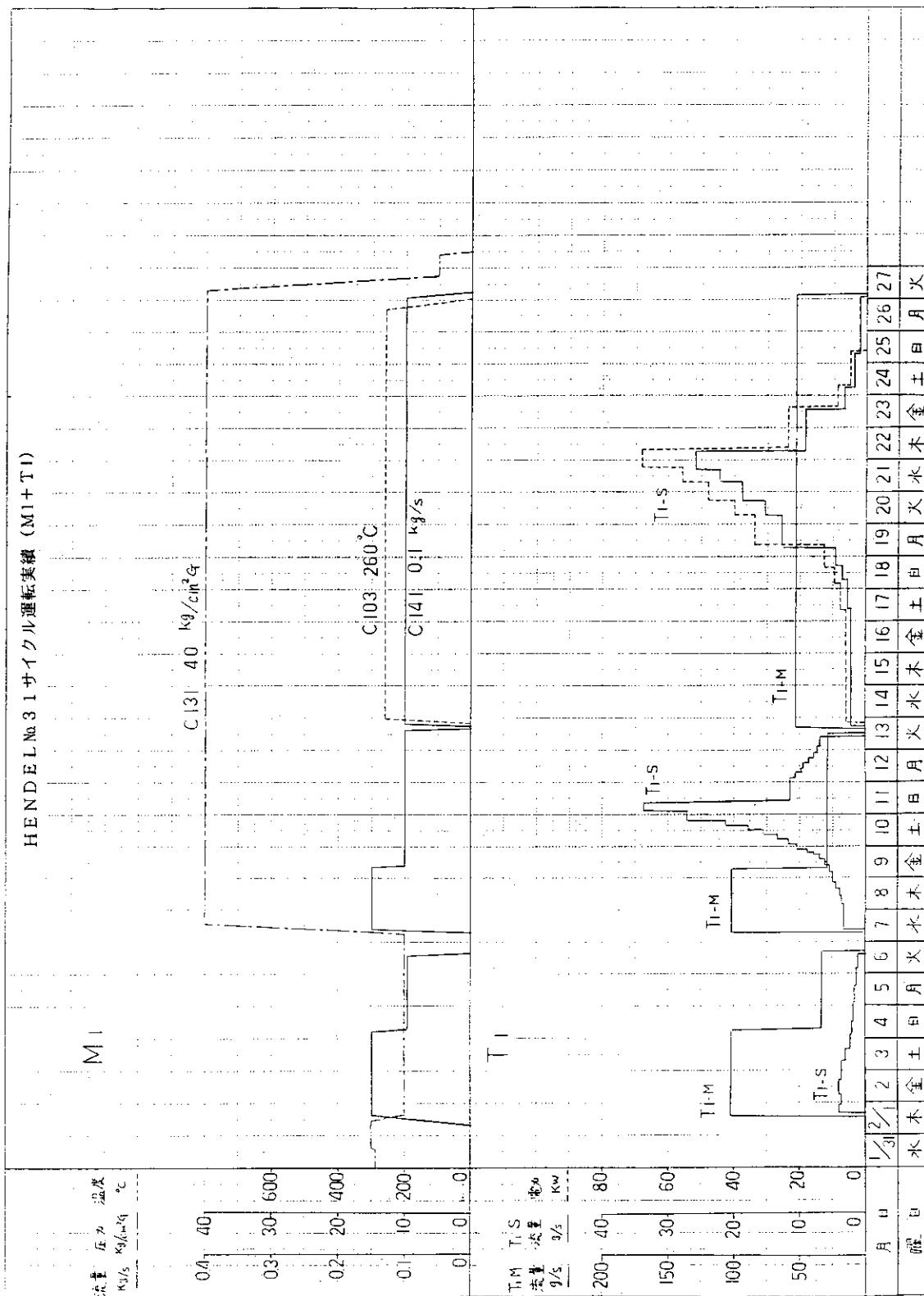


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (45/71)

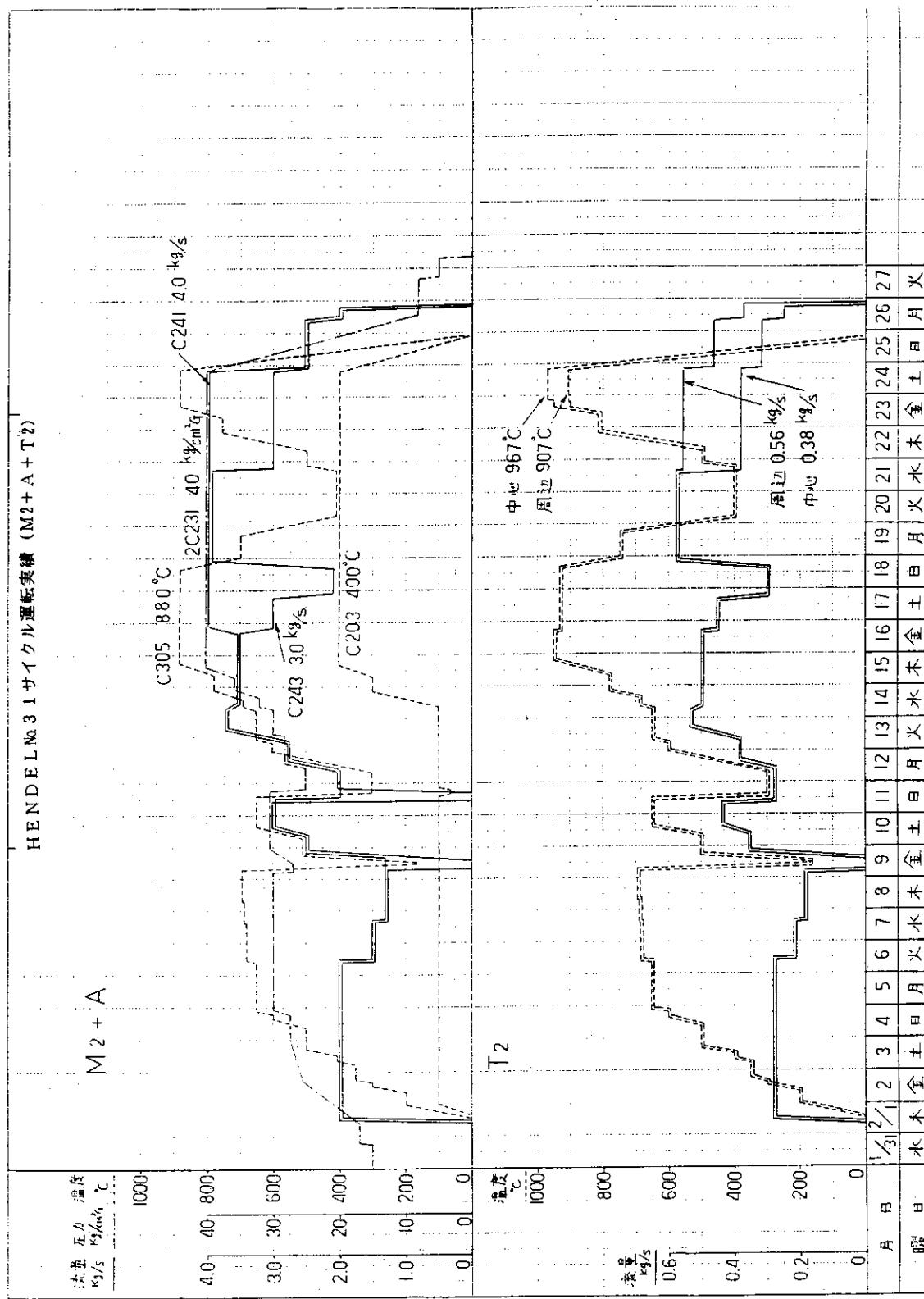


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (46/71)

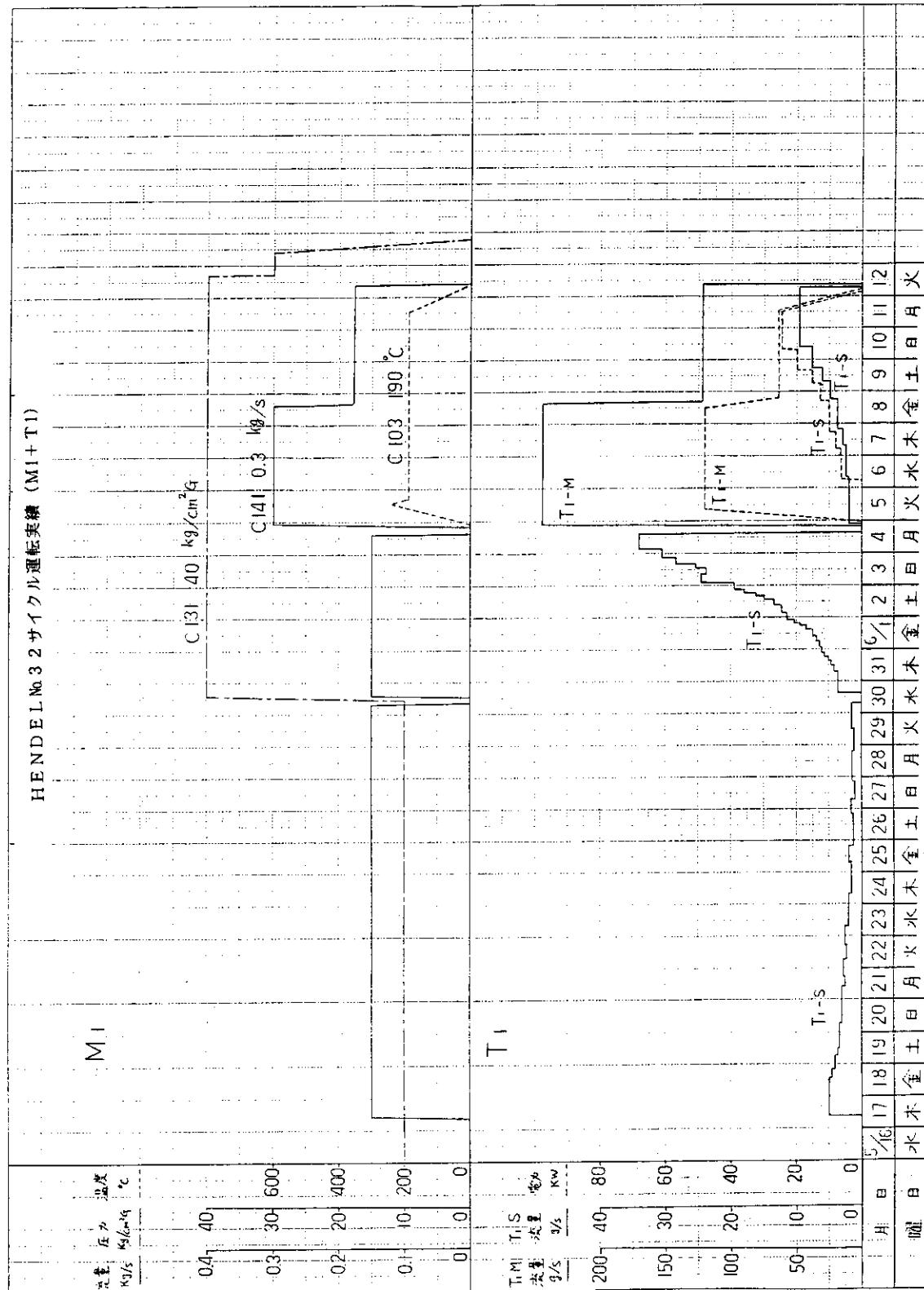


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (47/71)

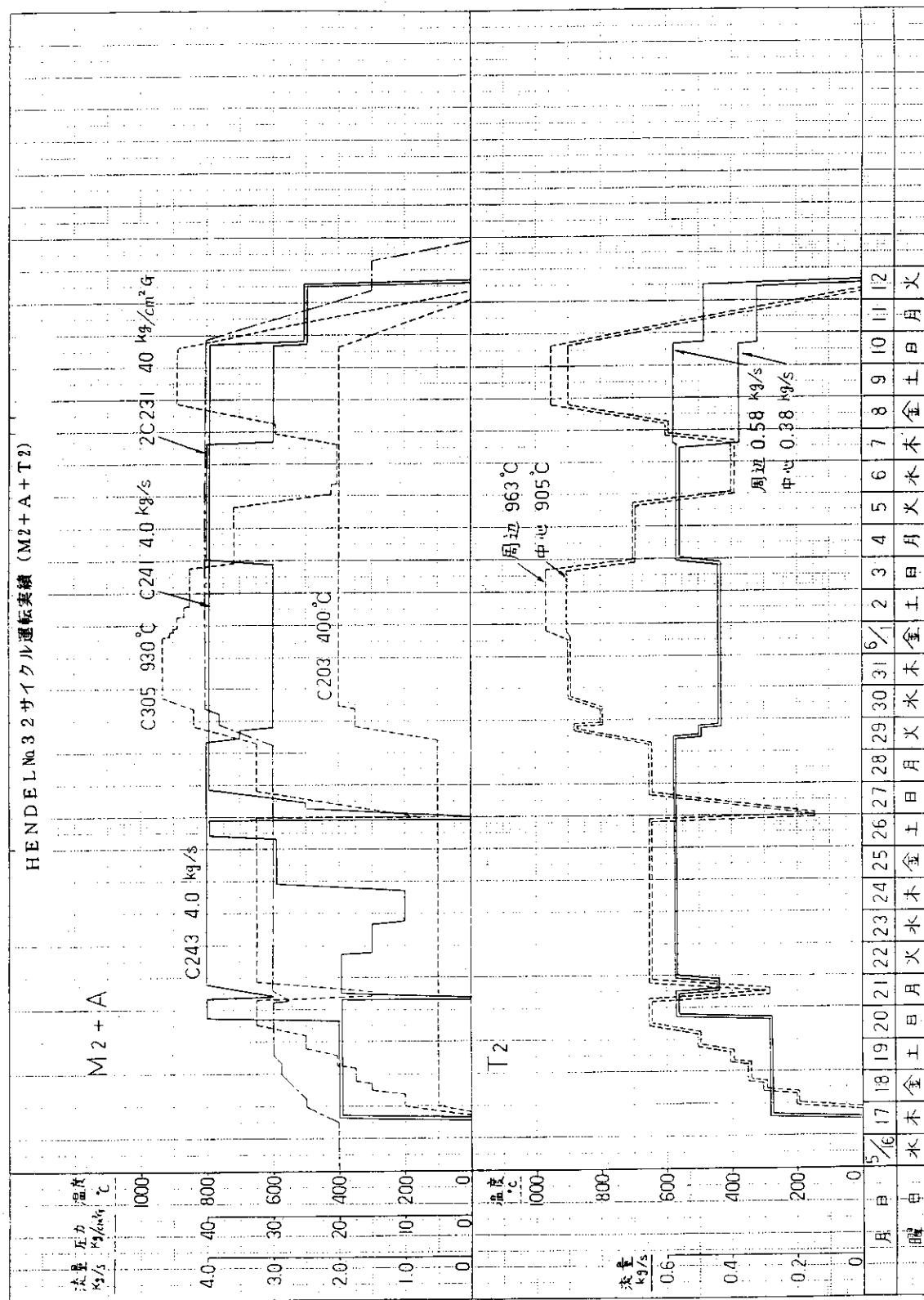


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (48/71)

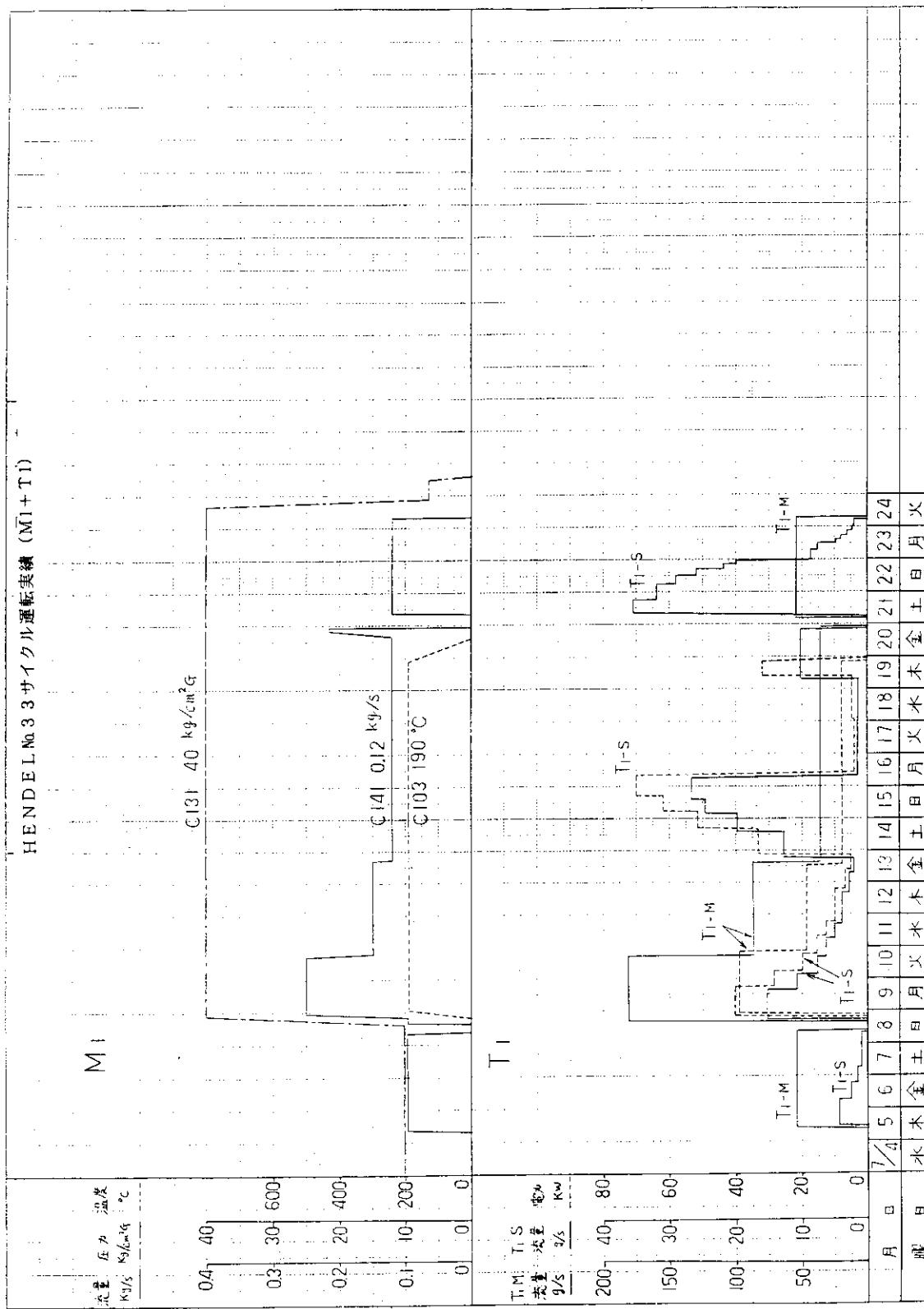


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (49/71)

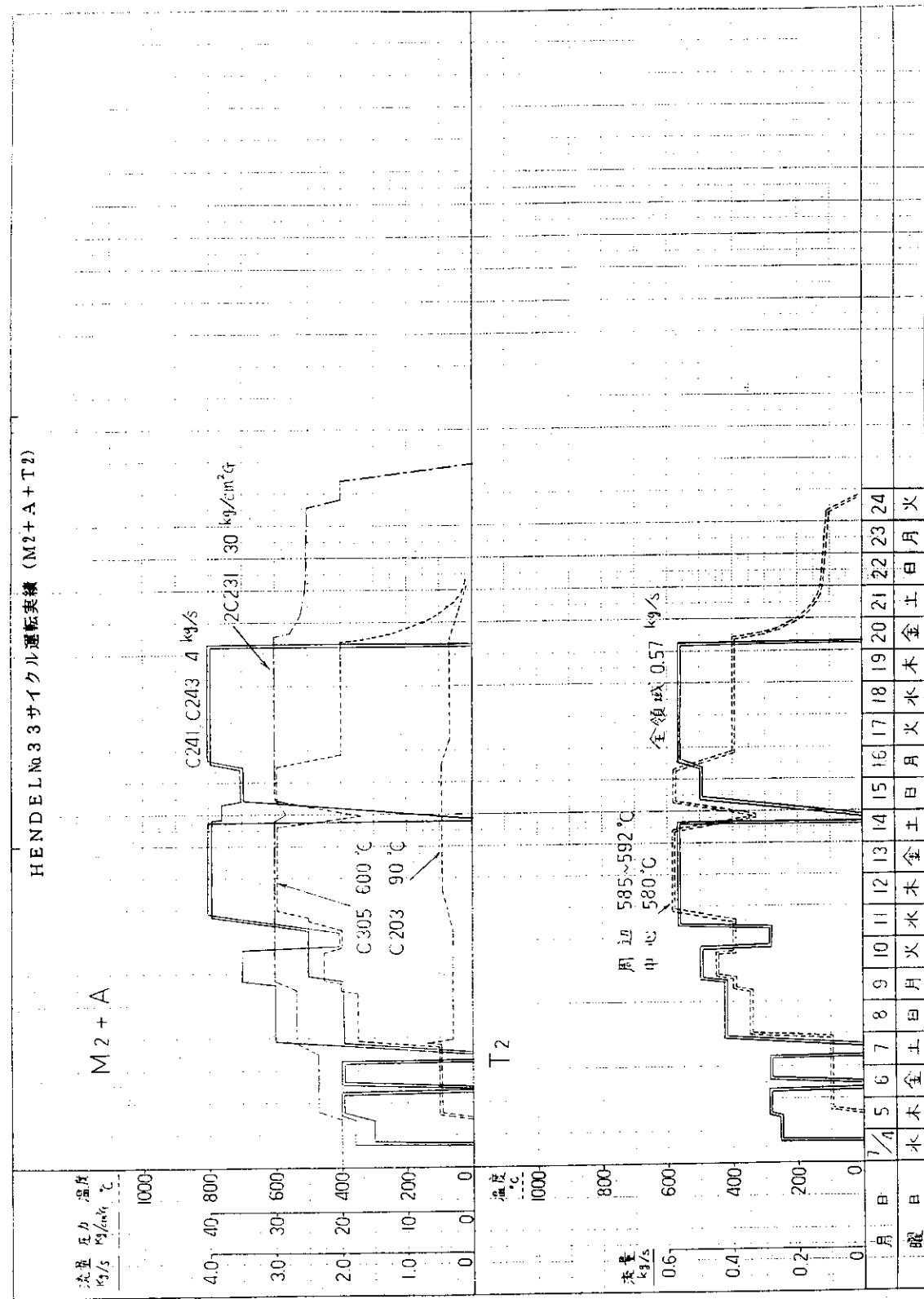


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (50/71)

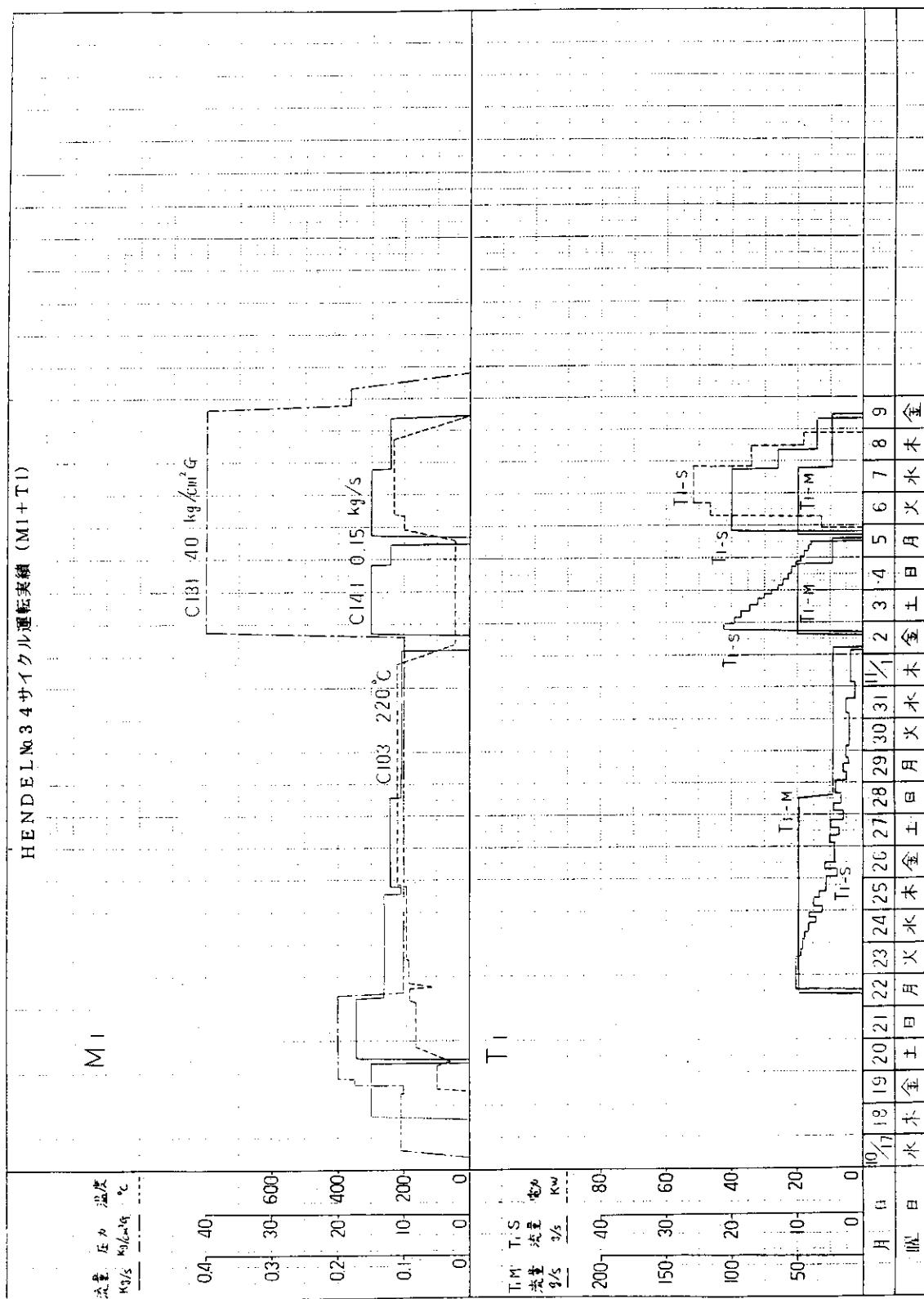


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (51/71)

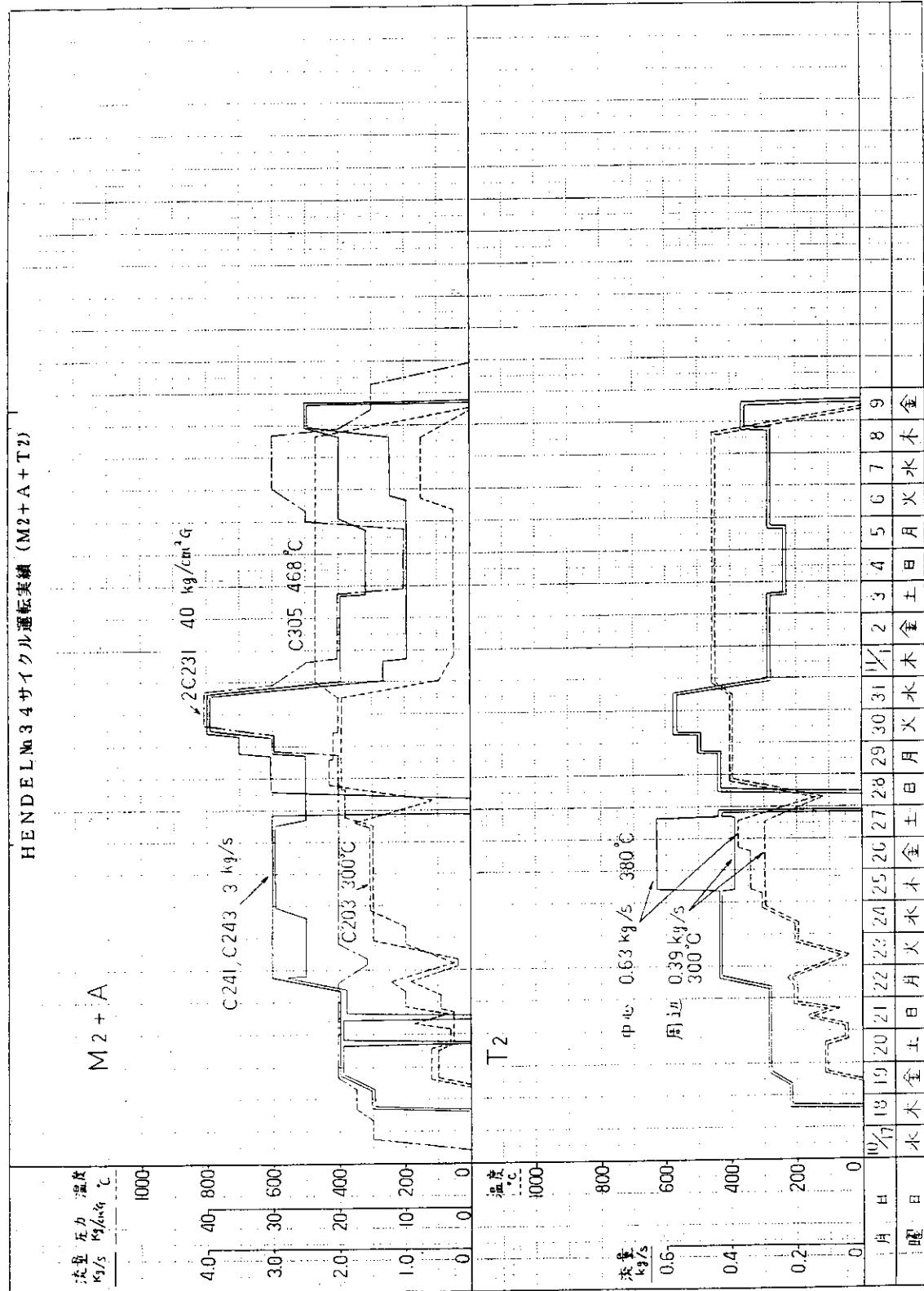


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (52/71)

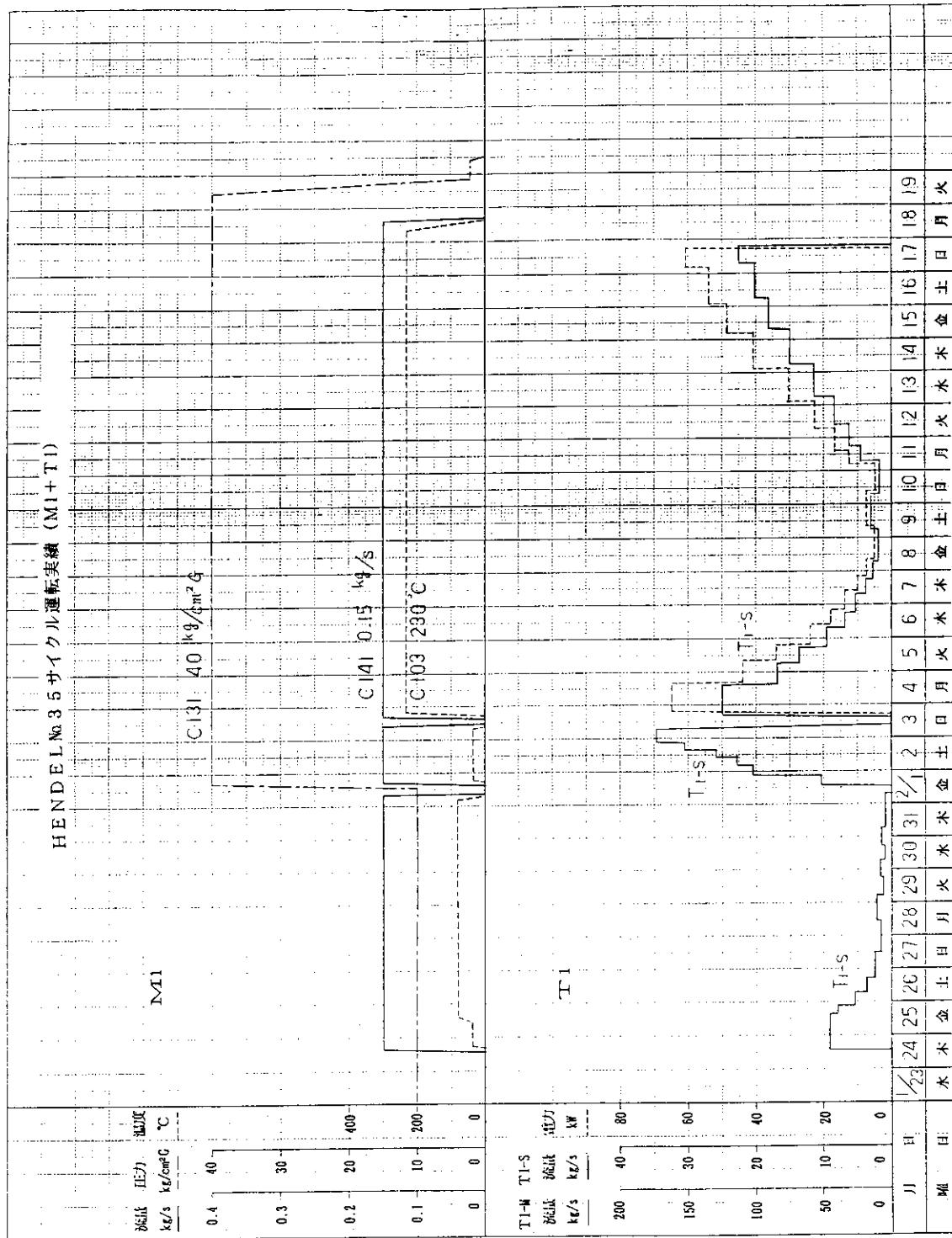


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (53/71)

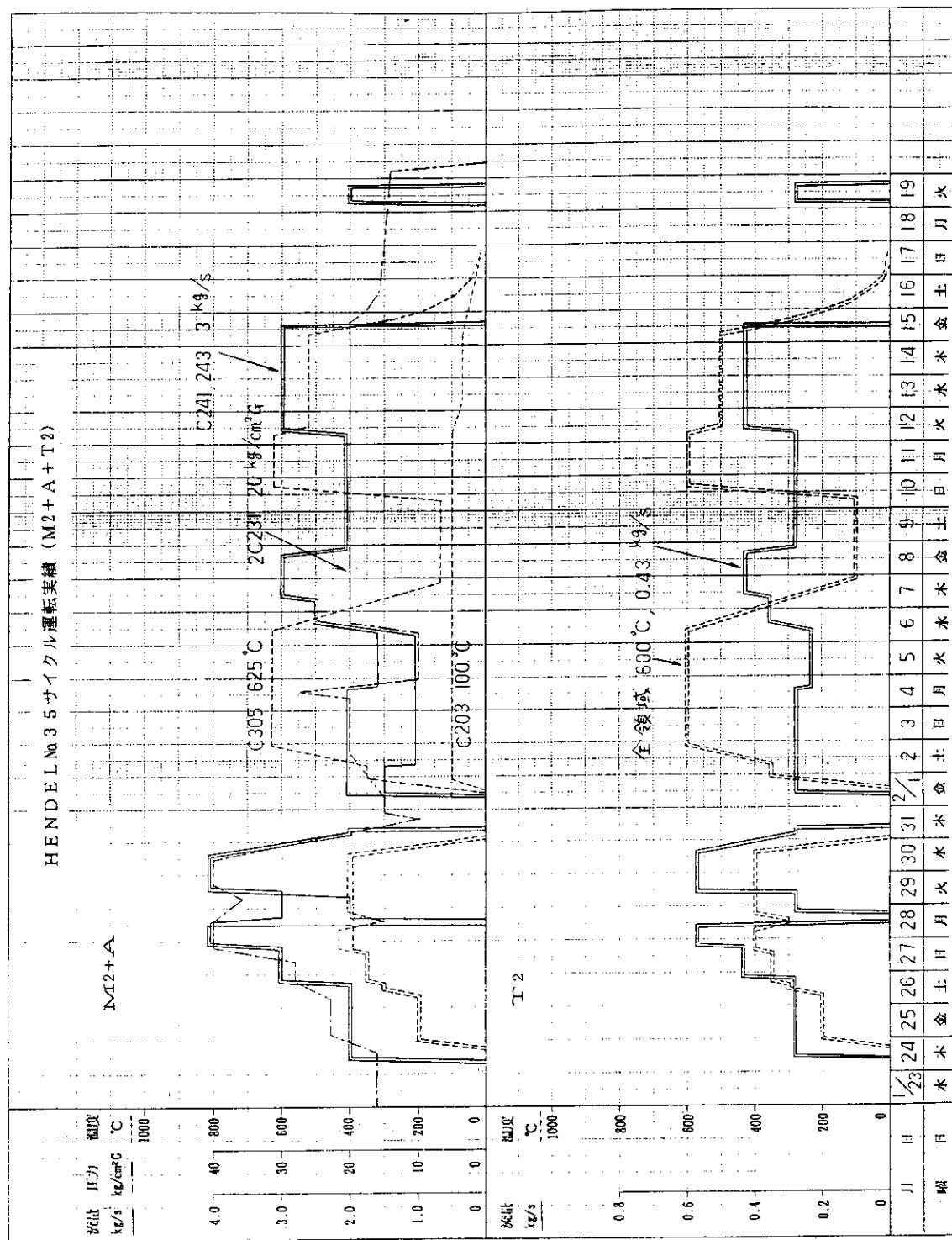


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (54/71)

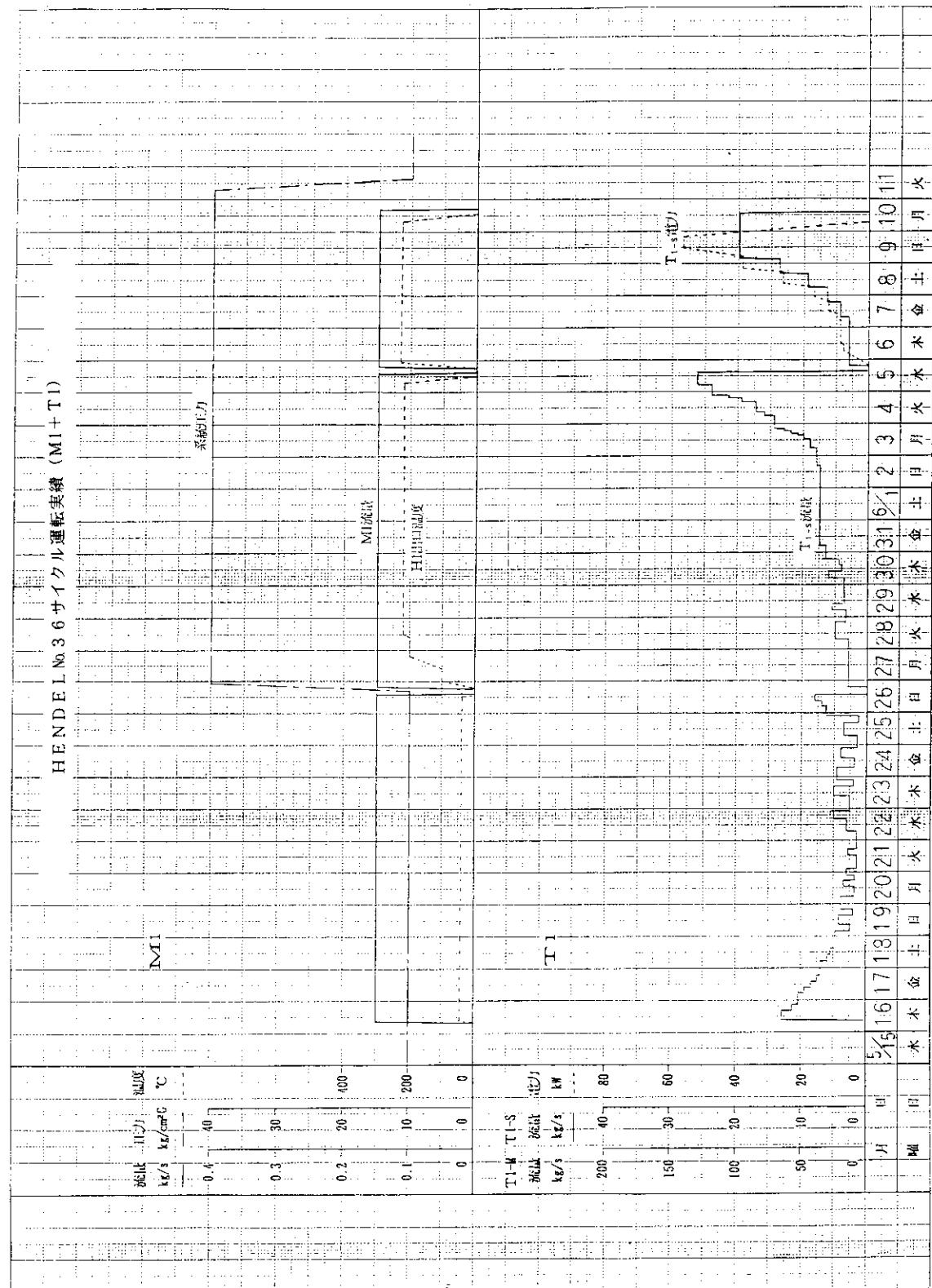


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (55/71)

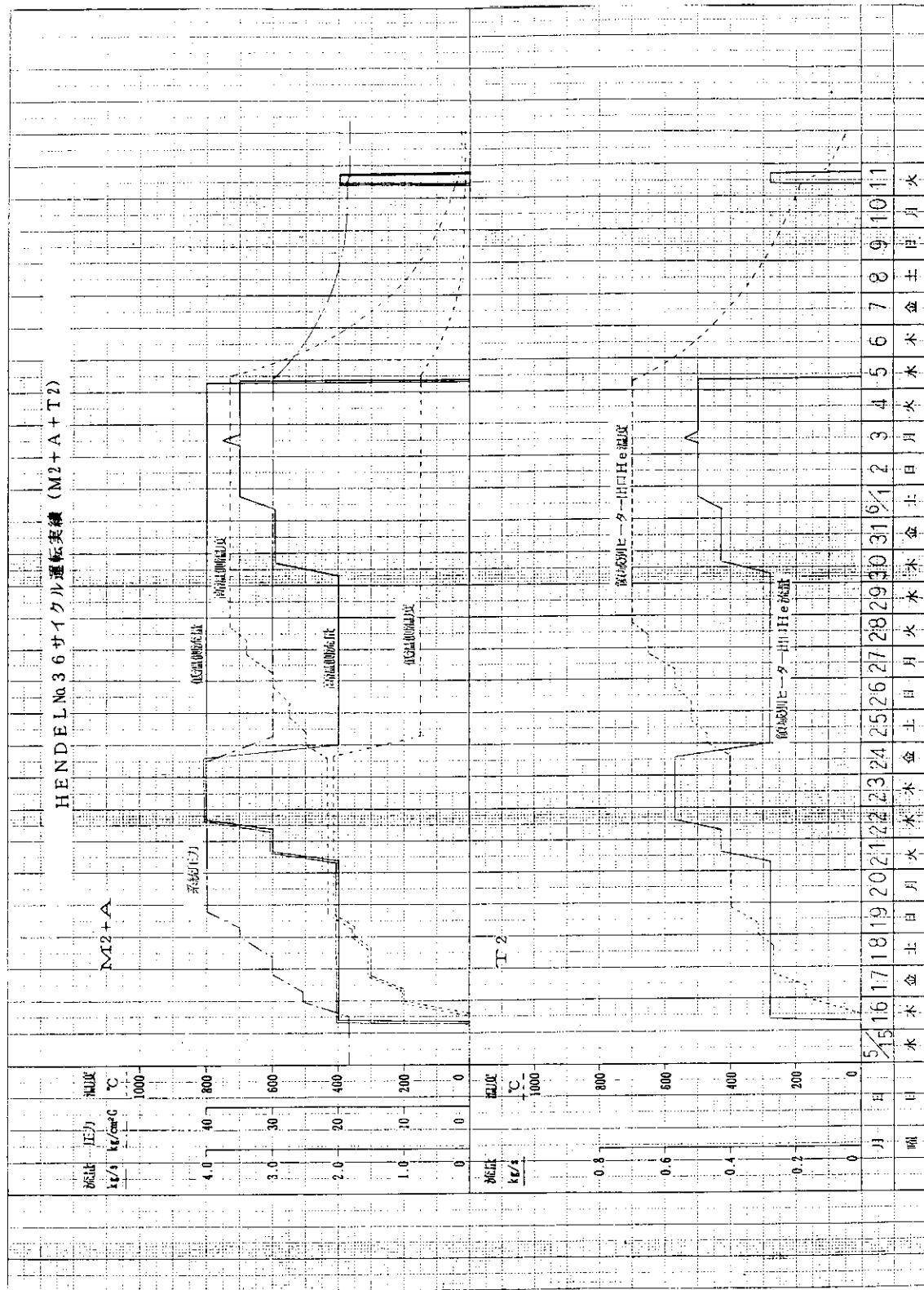


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (56/71)

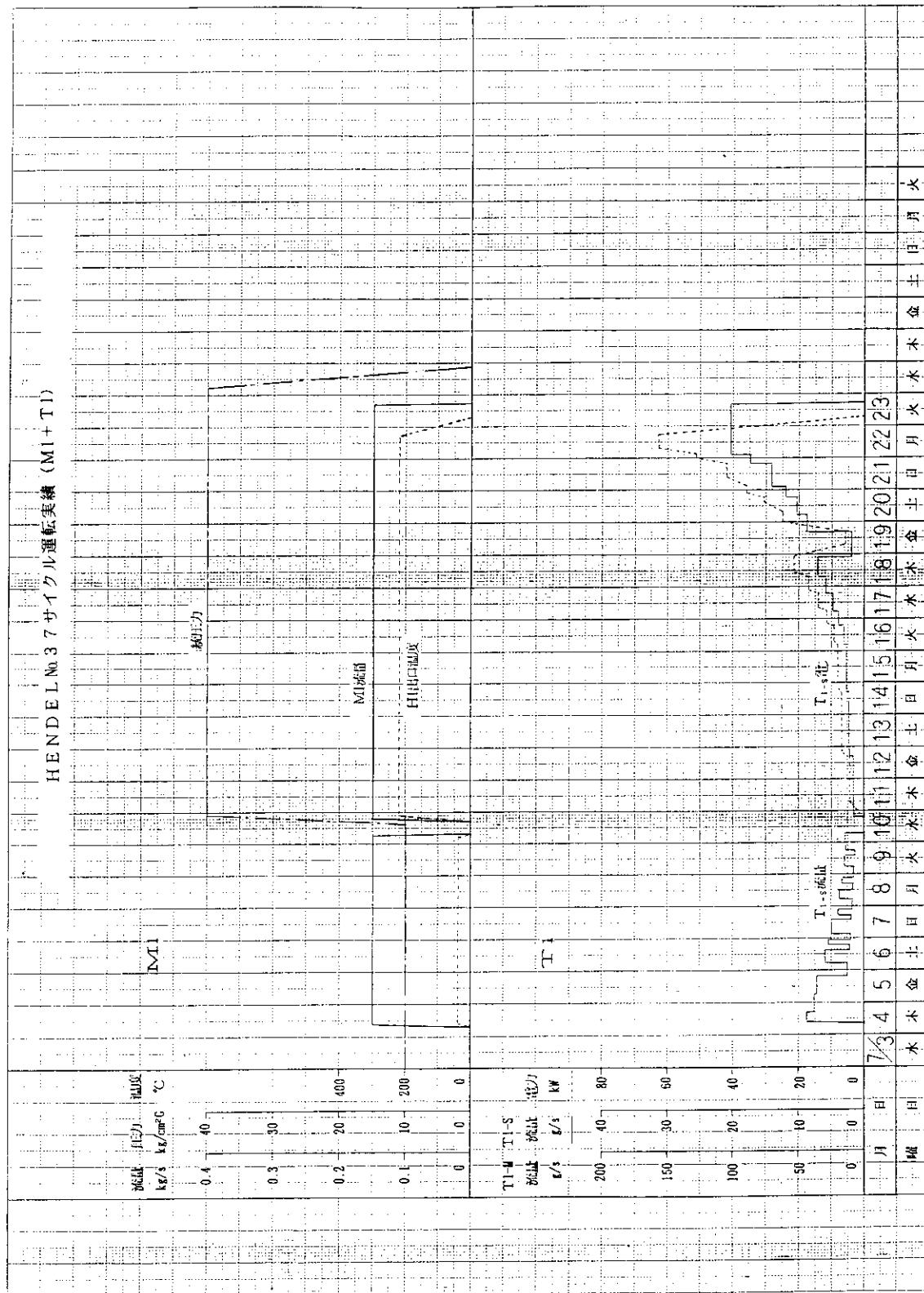


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (57/71)

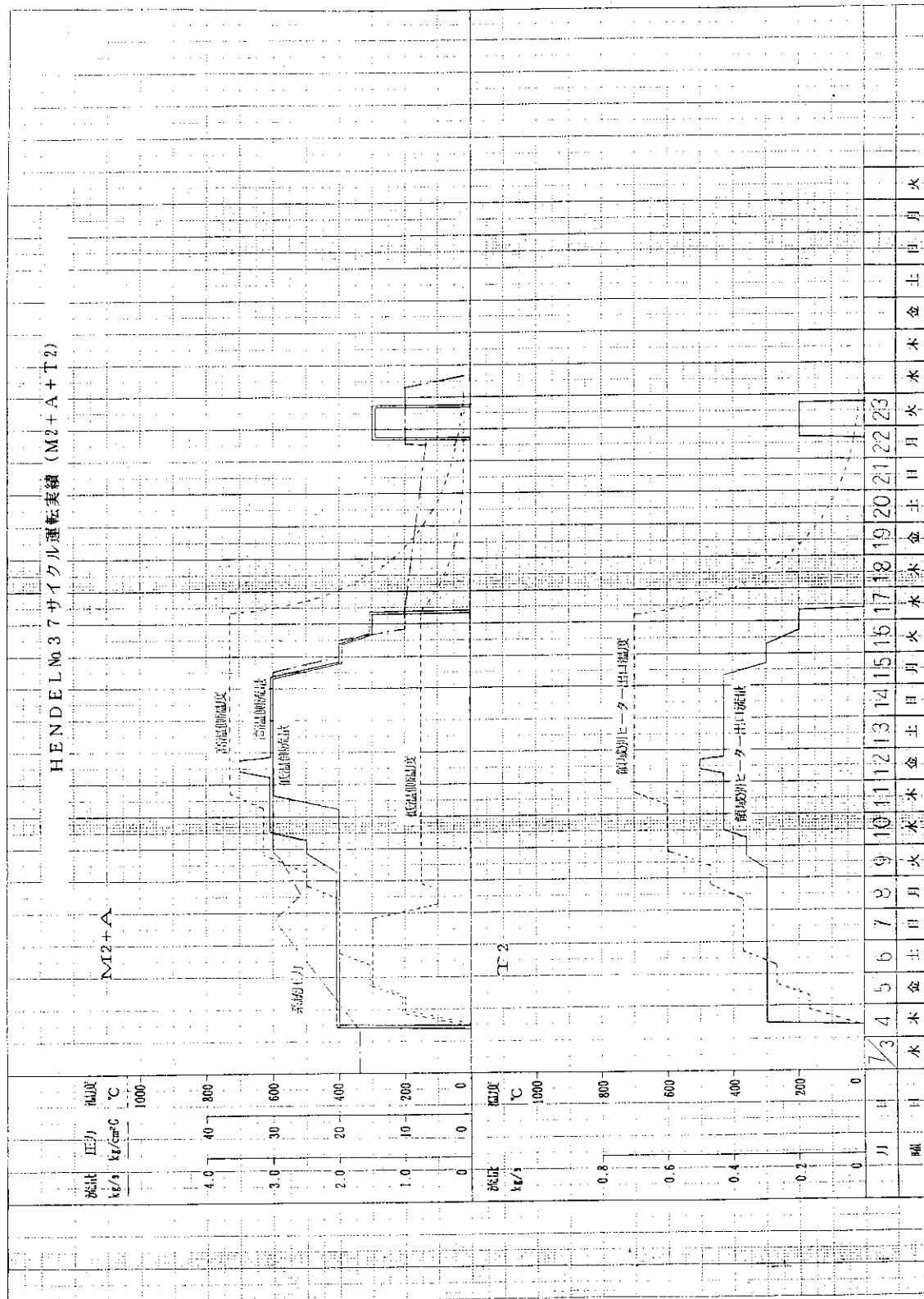


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (58/71)

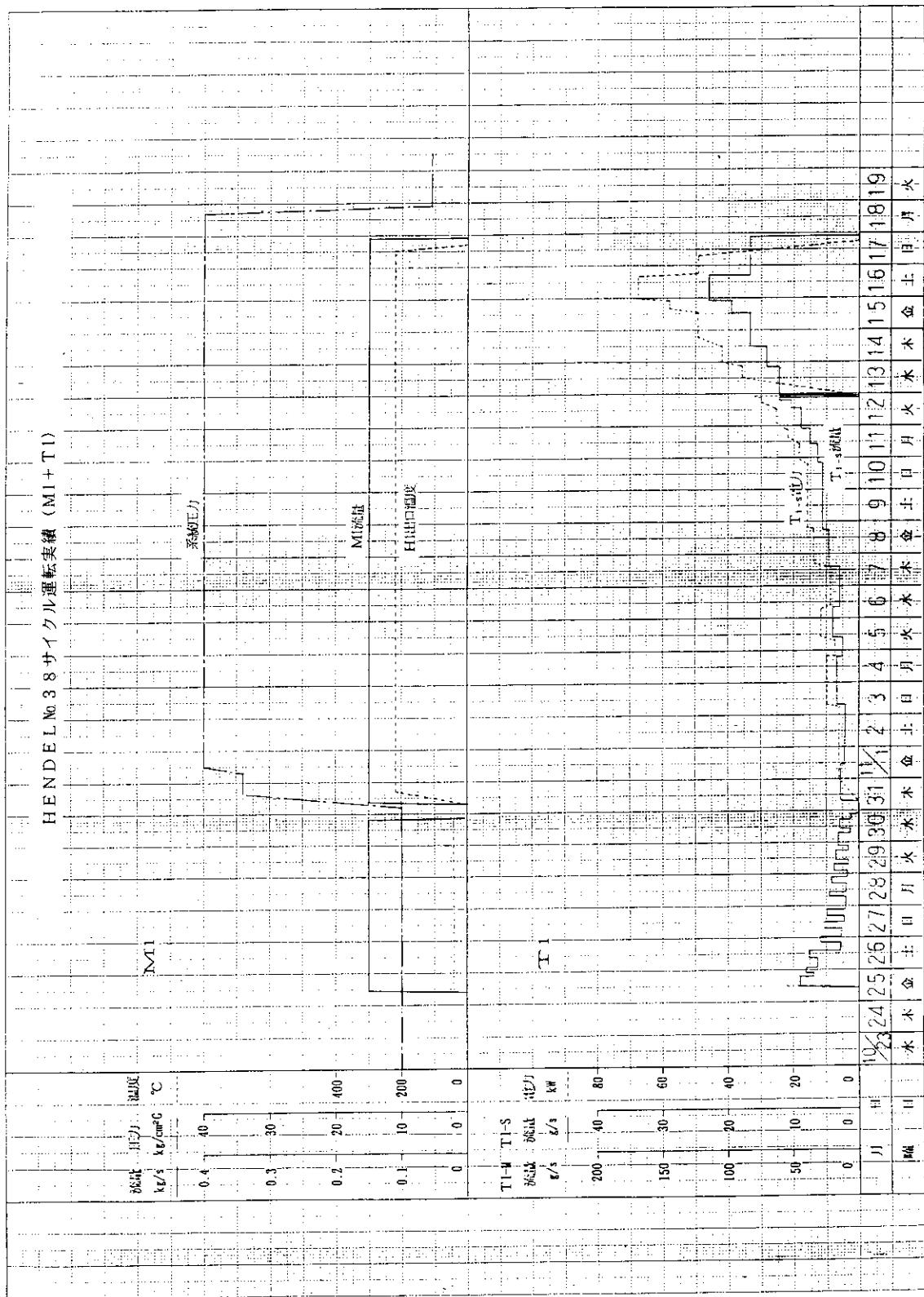


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (59/71)

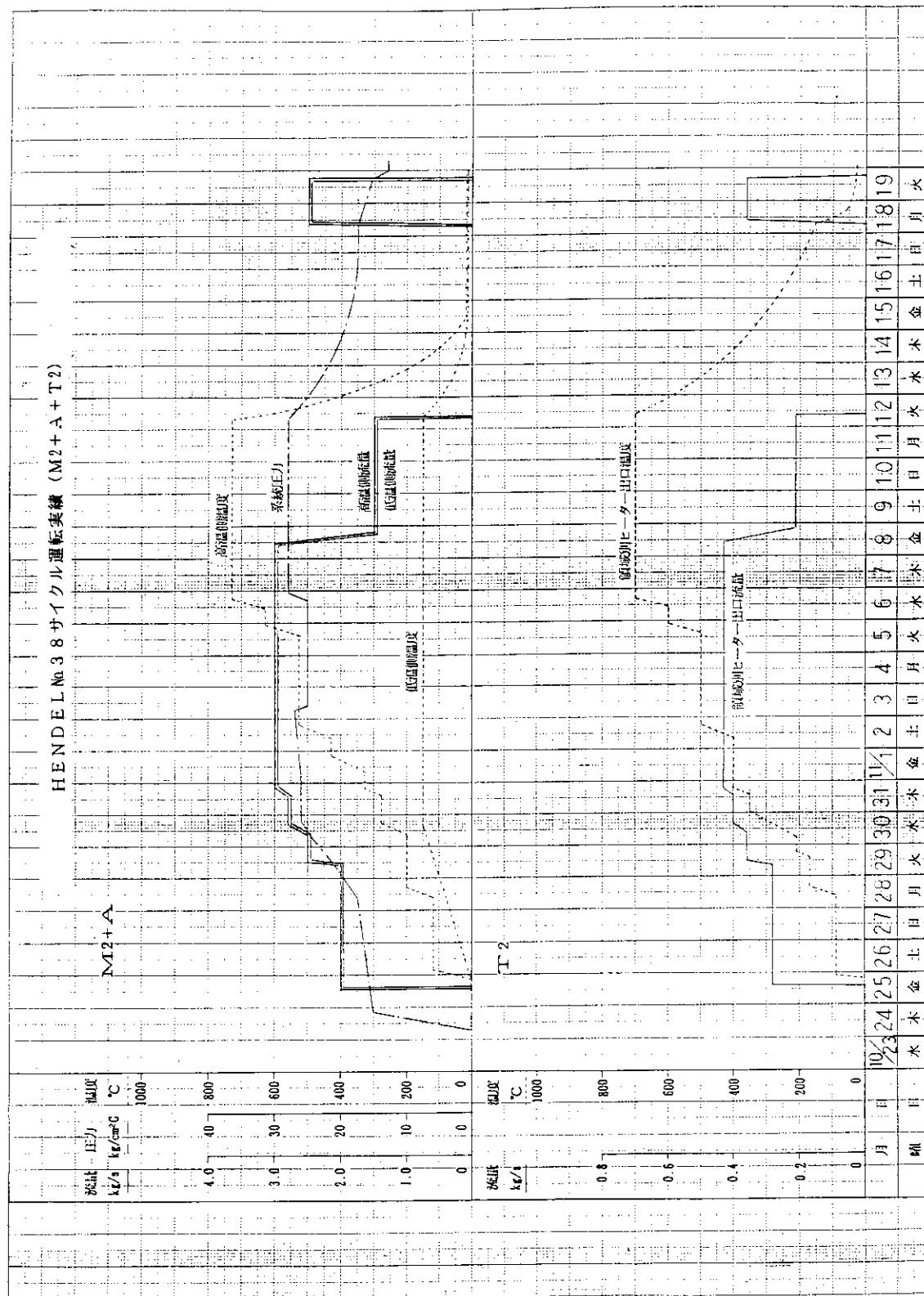


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (60/71)

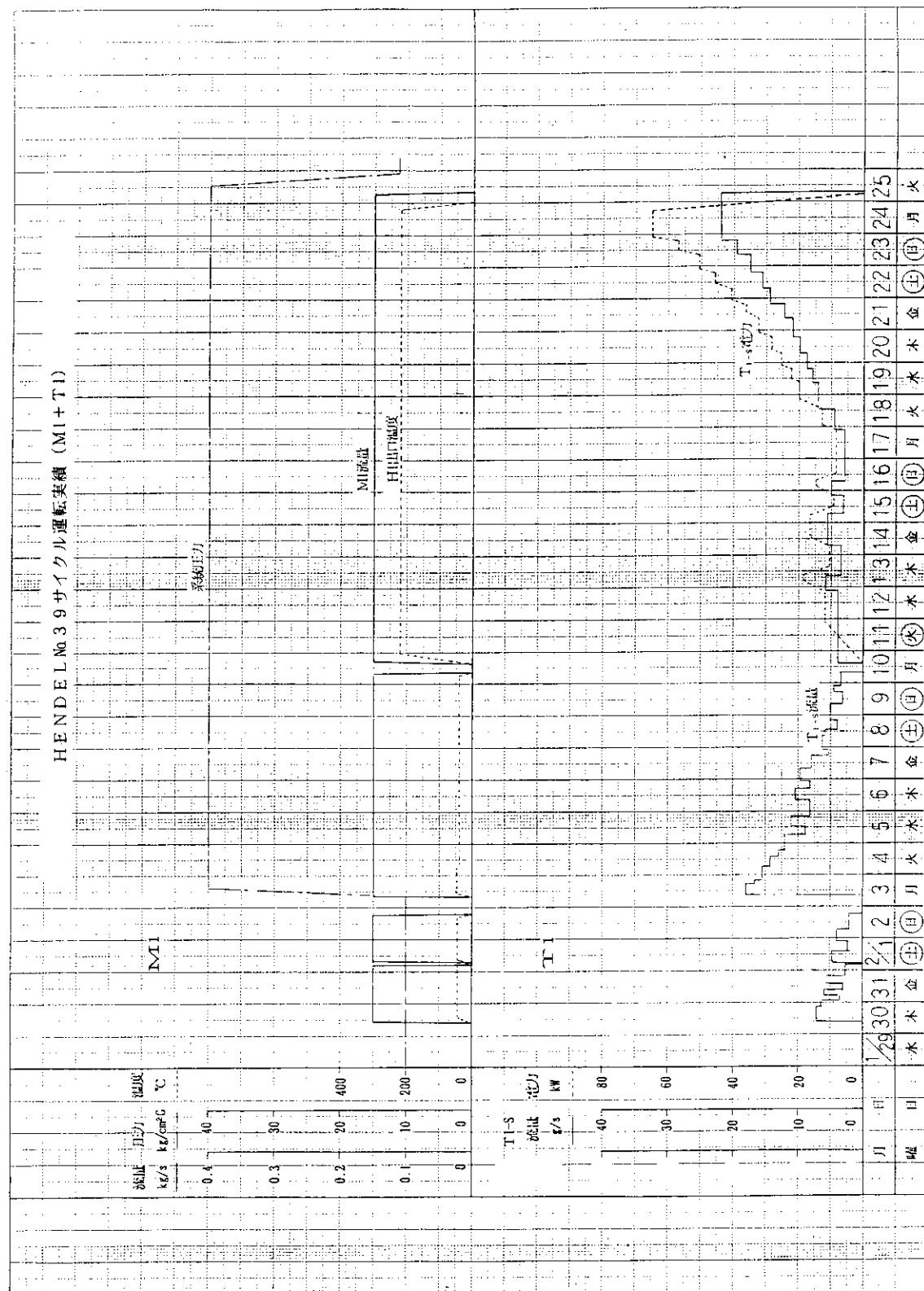


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (61/71)

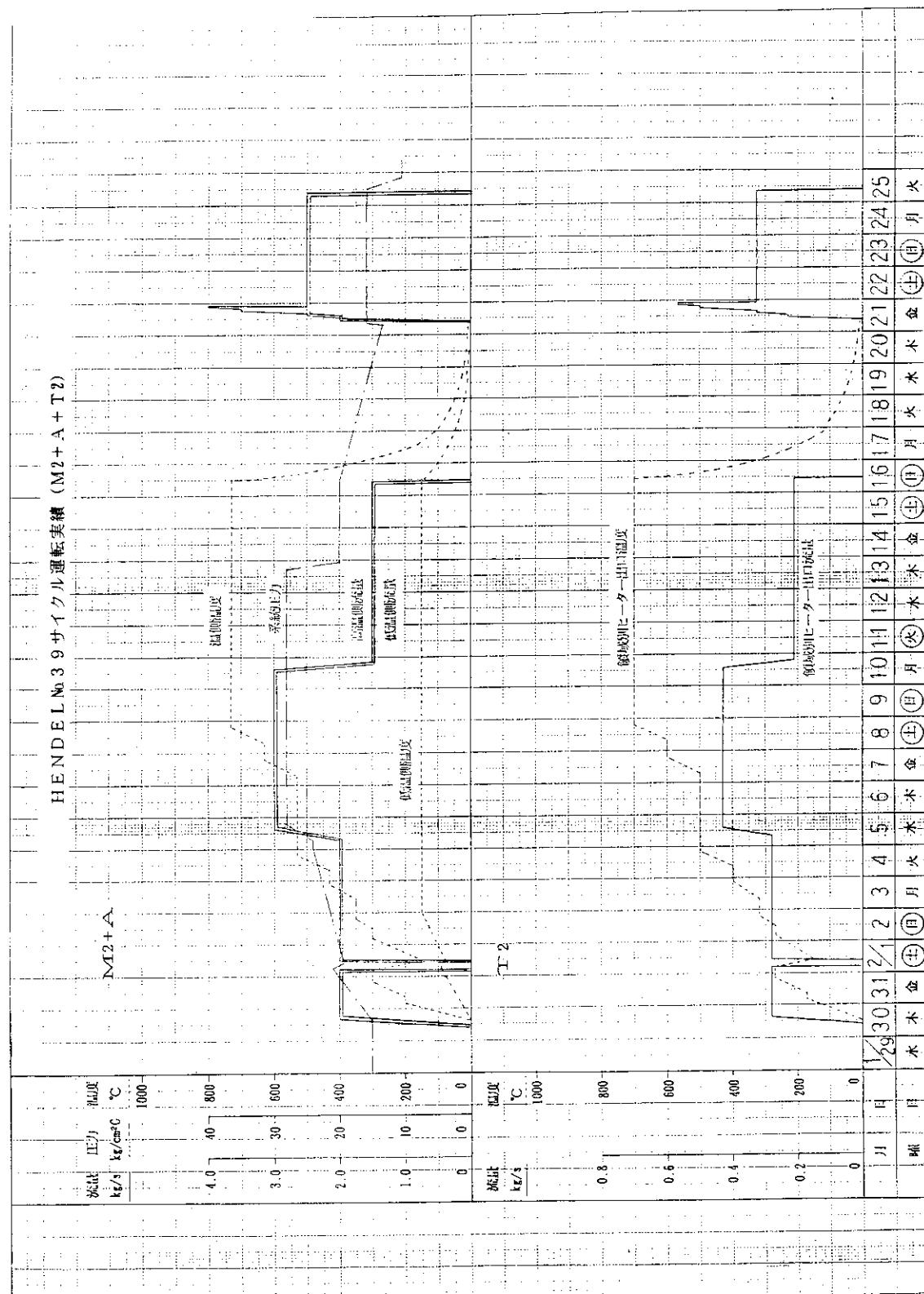


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (62/71)

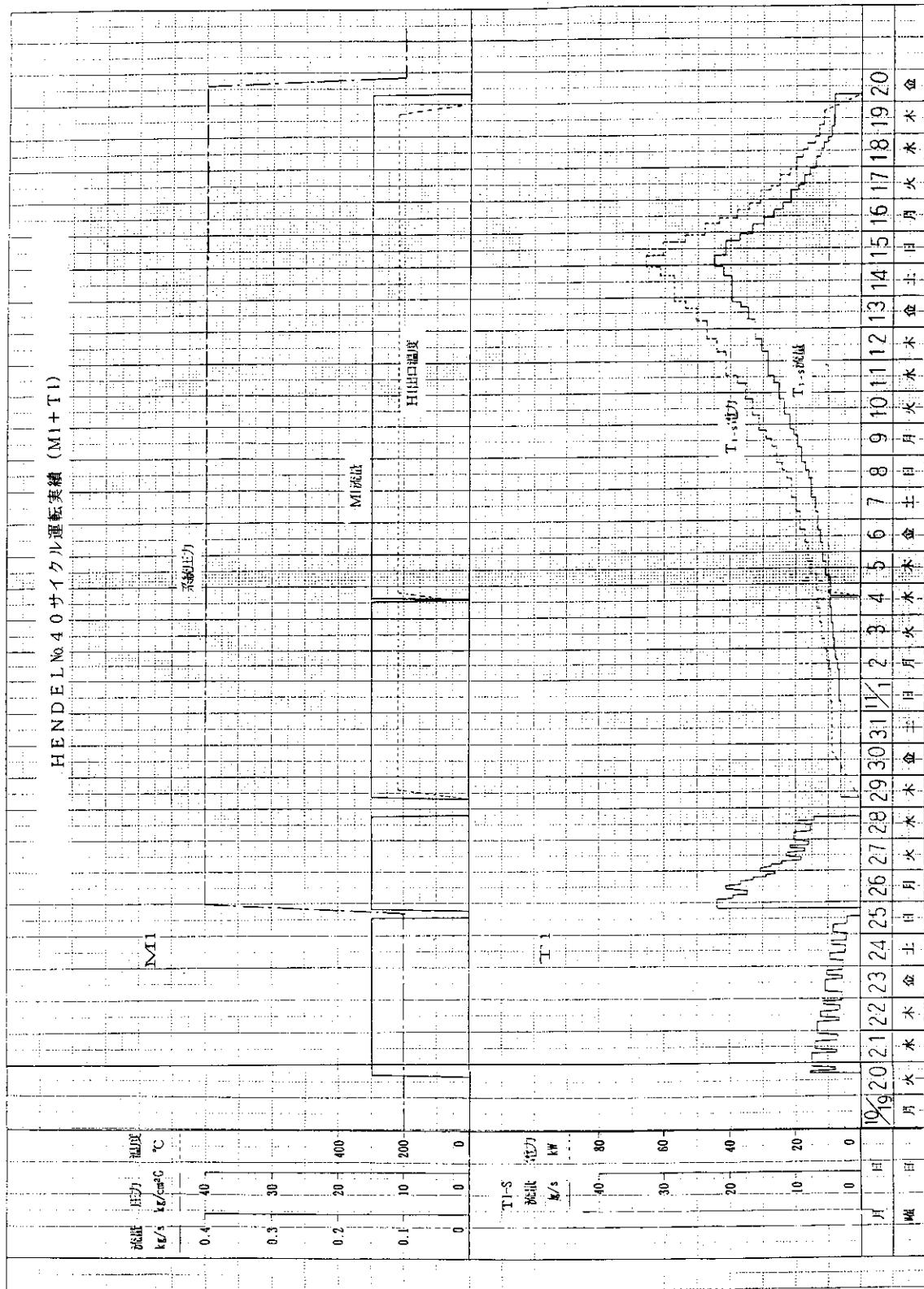
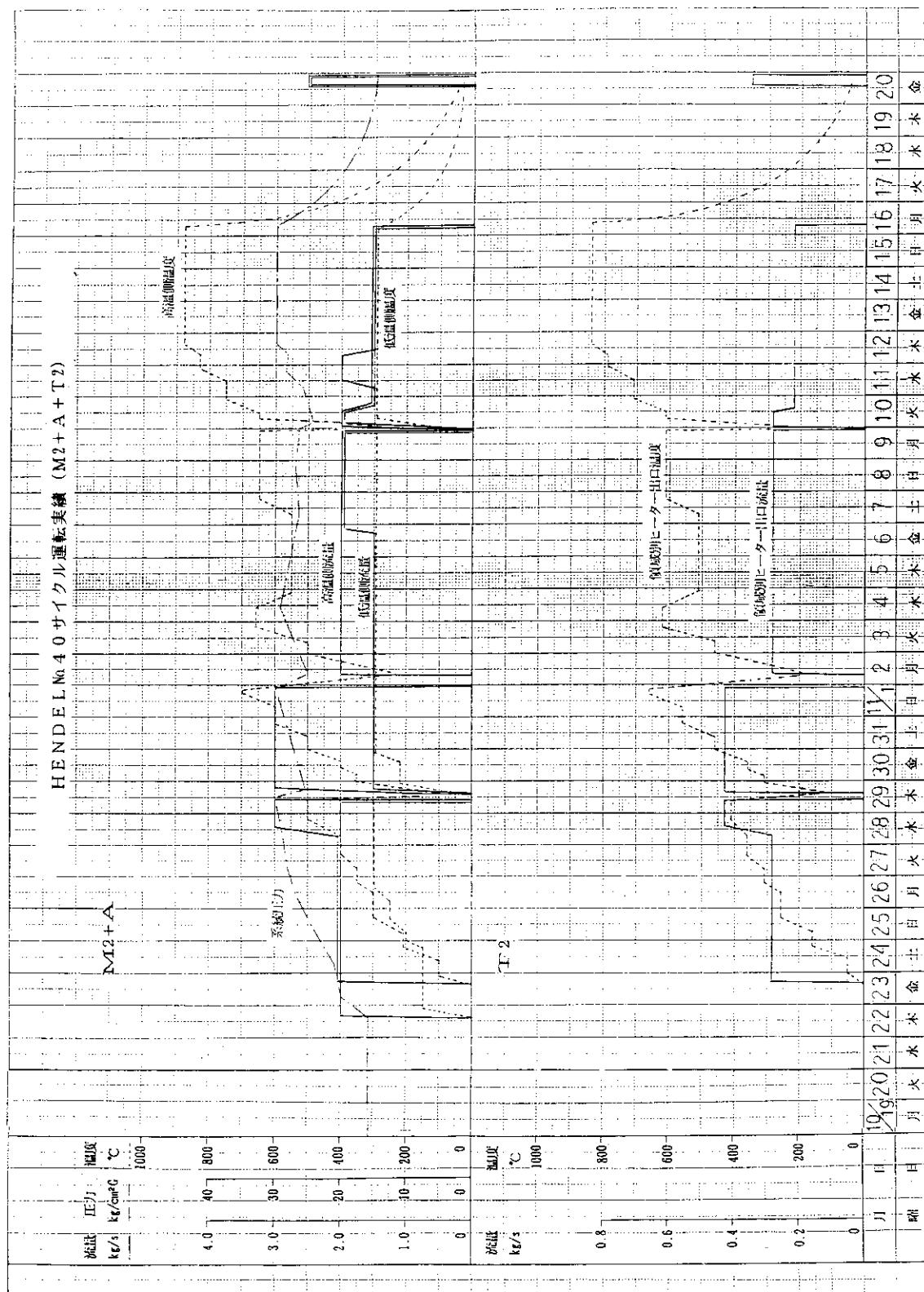


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (63/71)



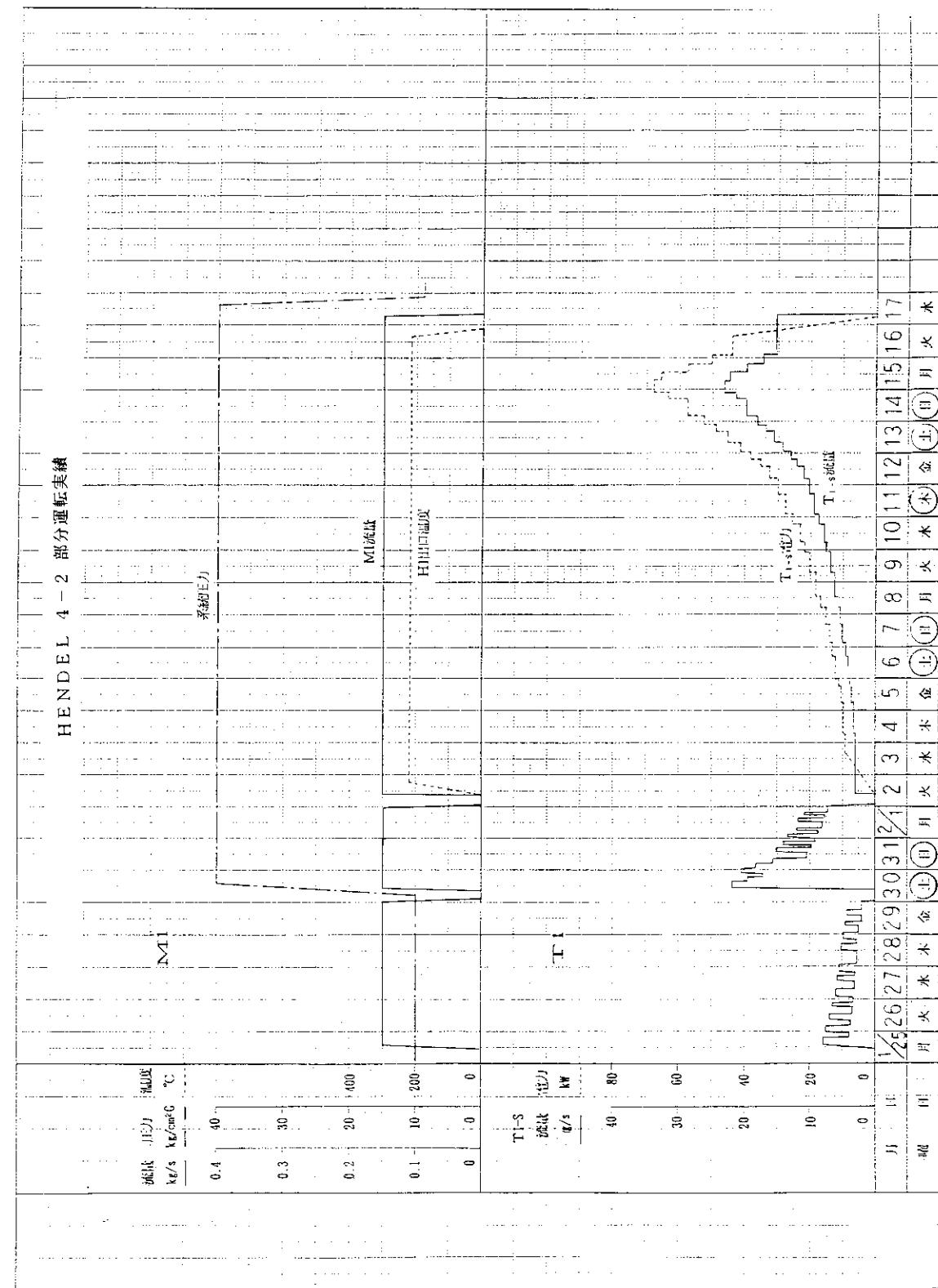


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (65/71)

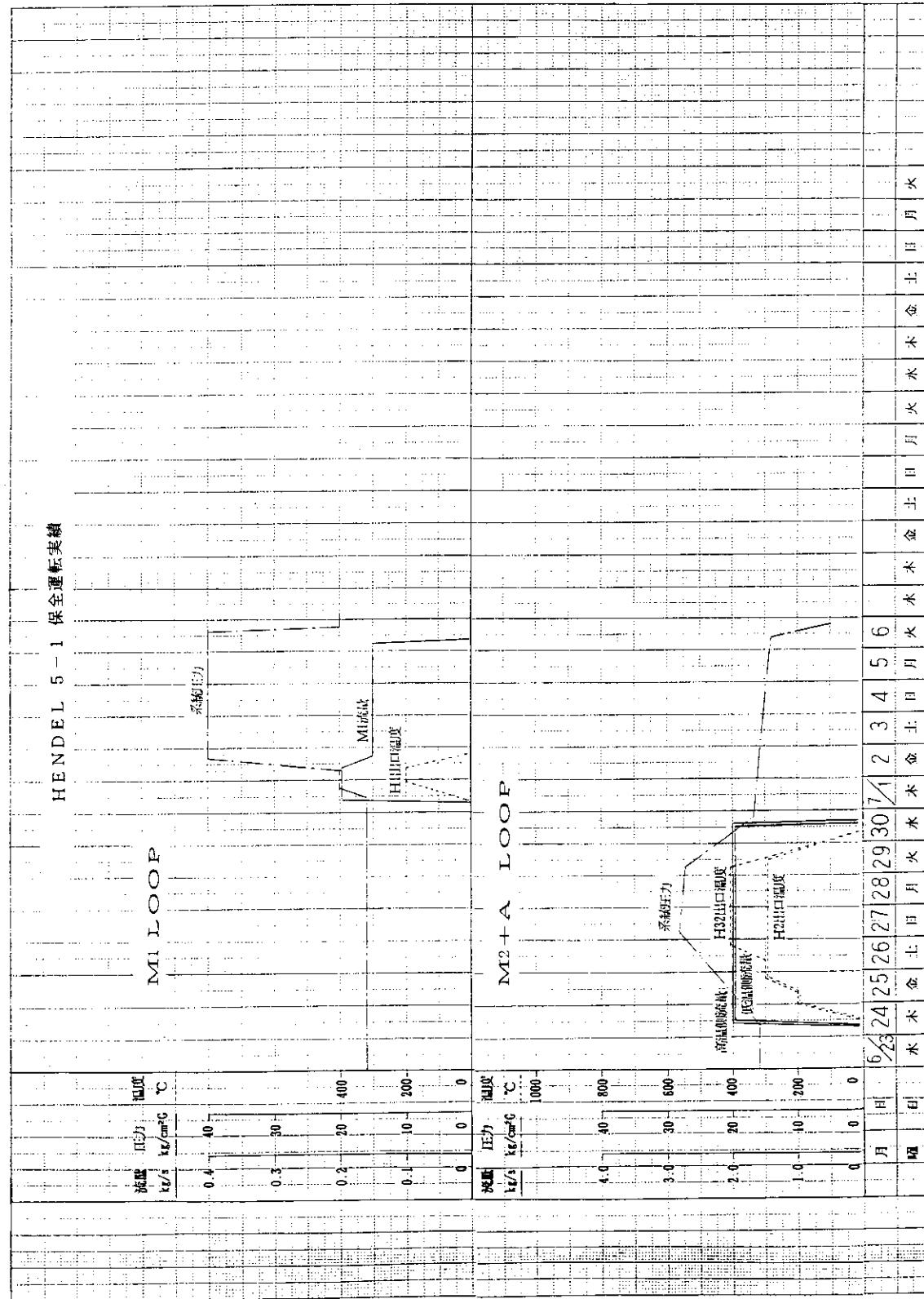


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (66/71)

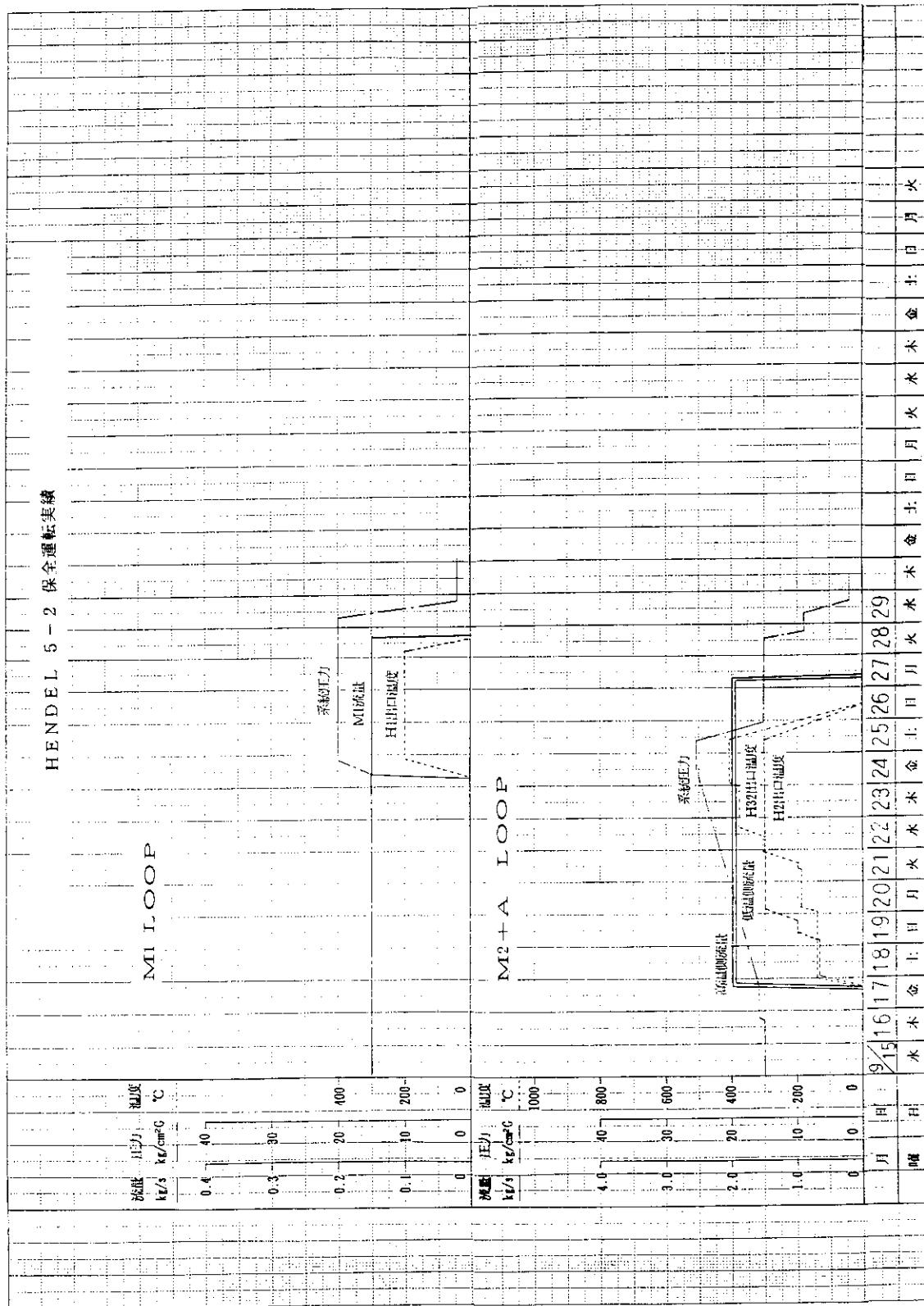


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (67/71)

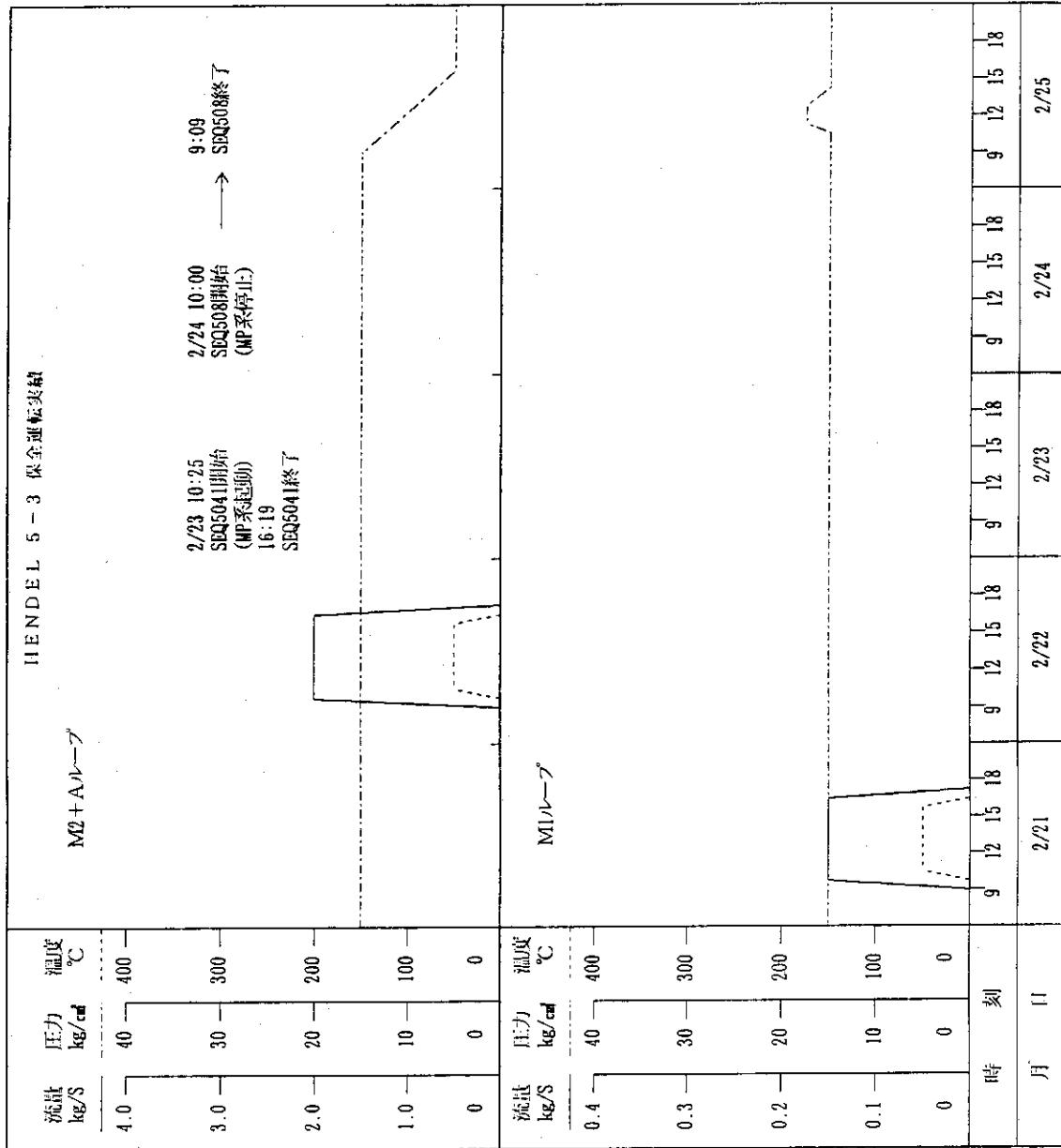


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (68/71)

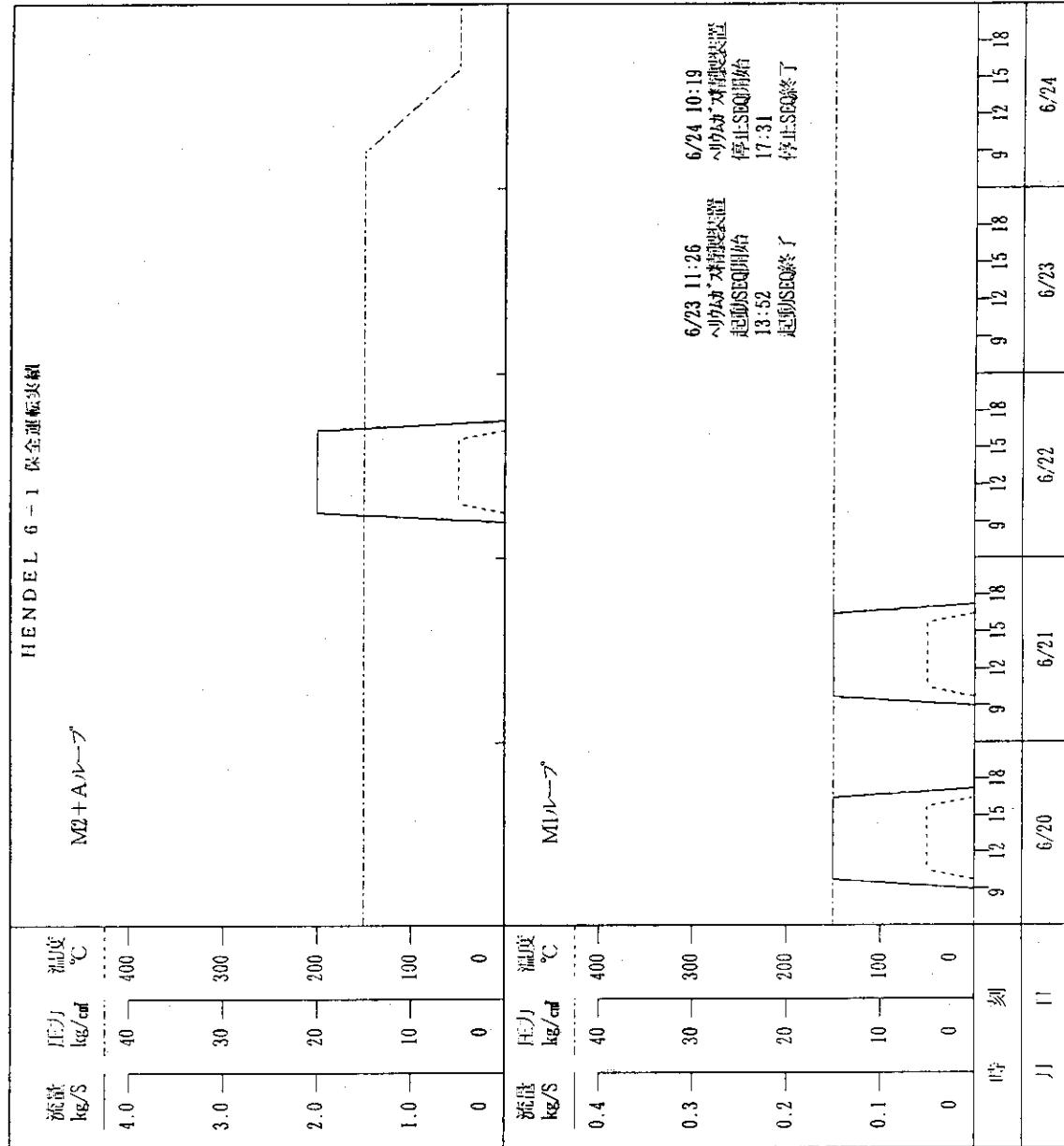


Fig. 3. 1 Operation record on facilities of the HENDEL (69/71)

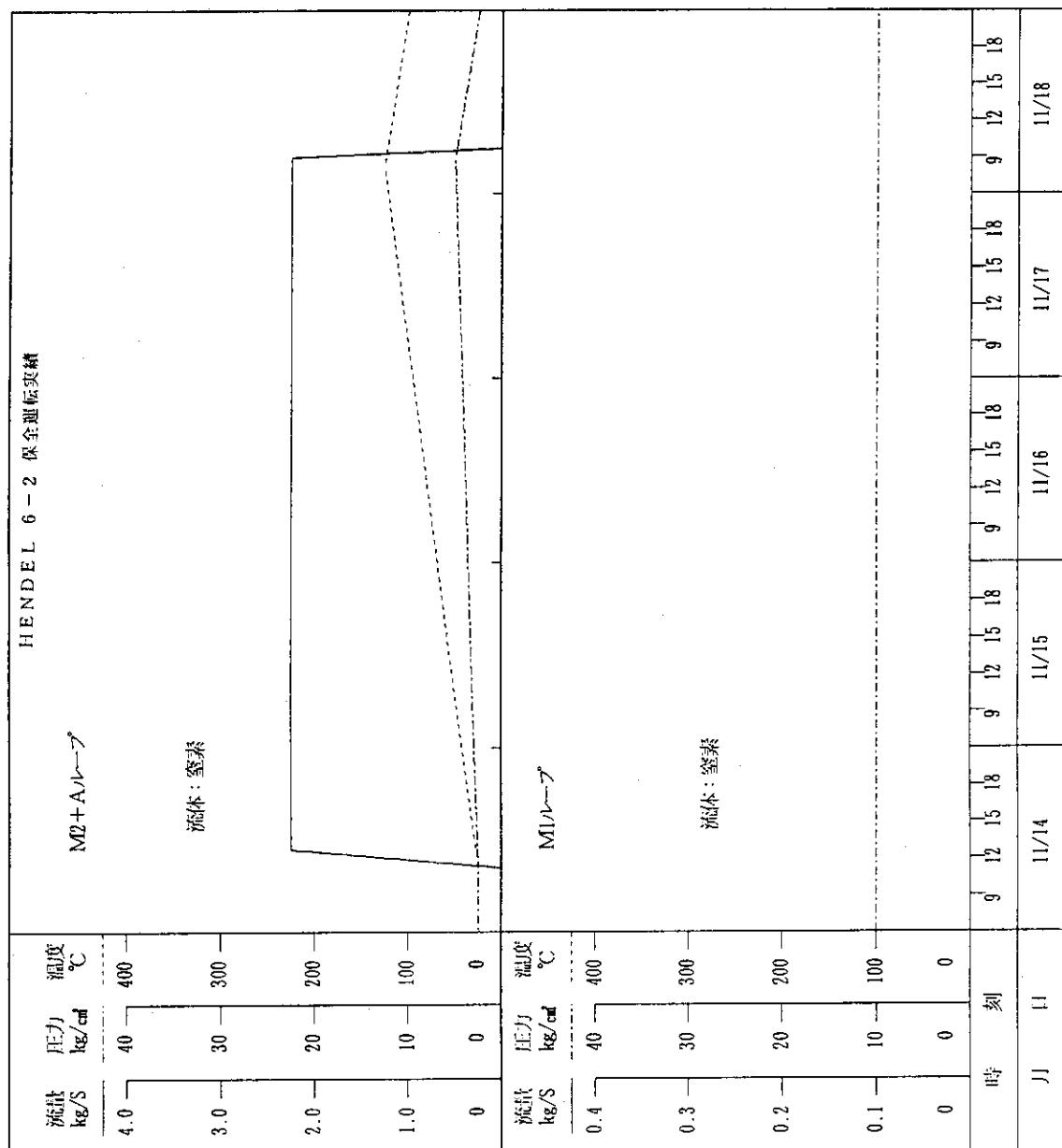


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (70/71)

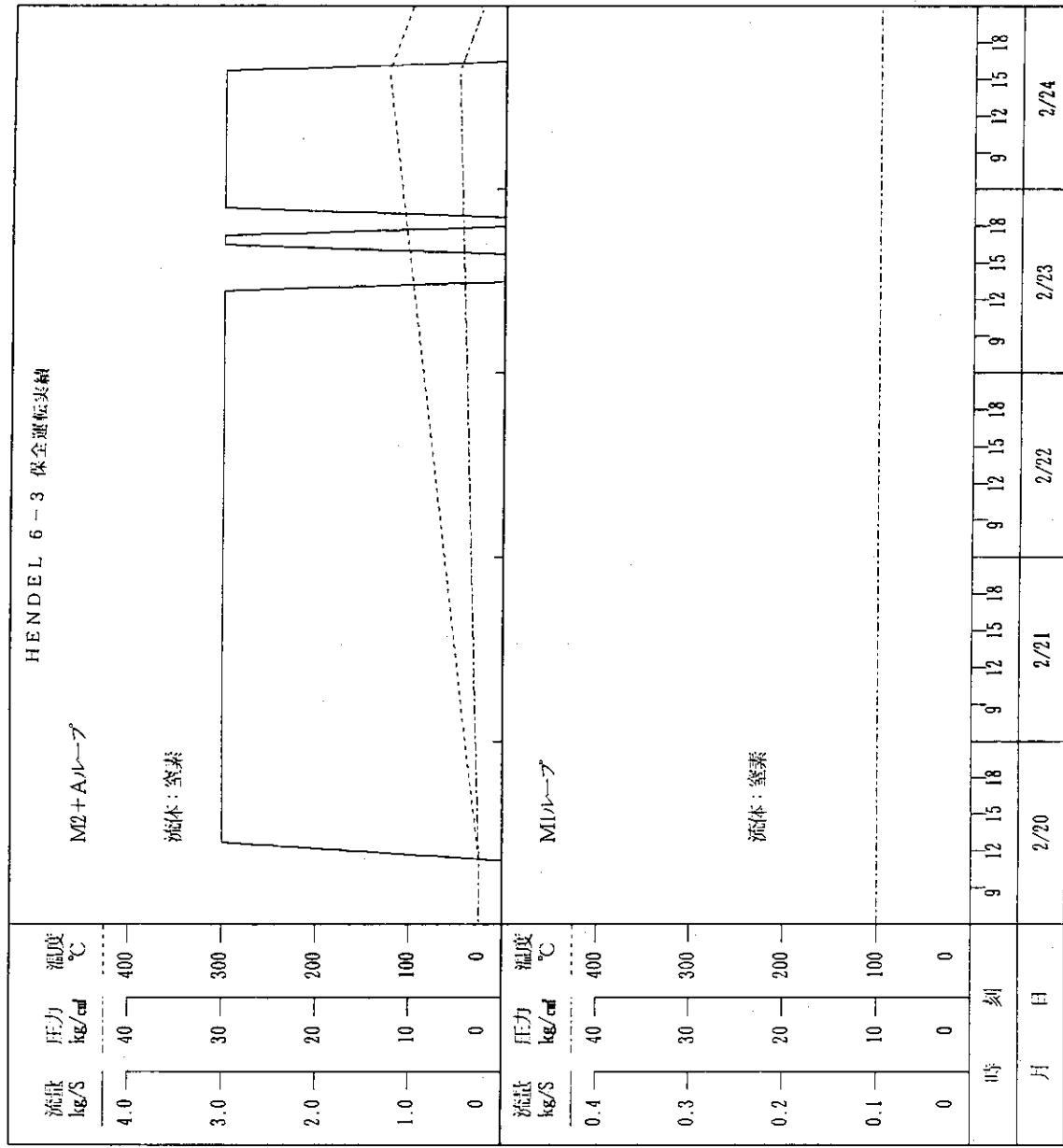
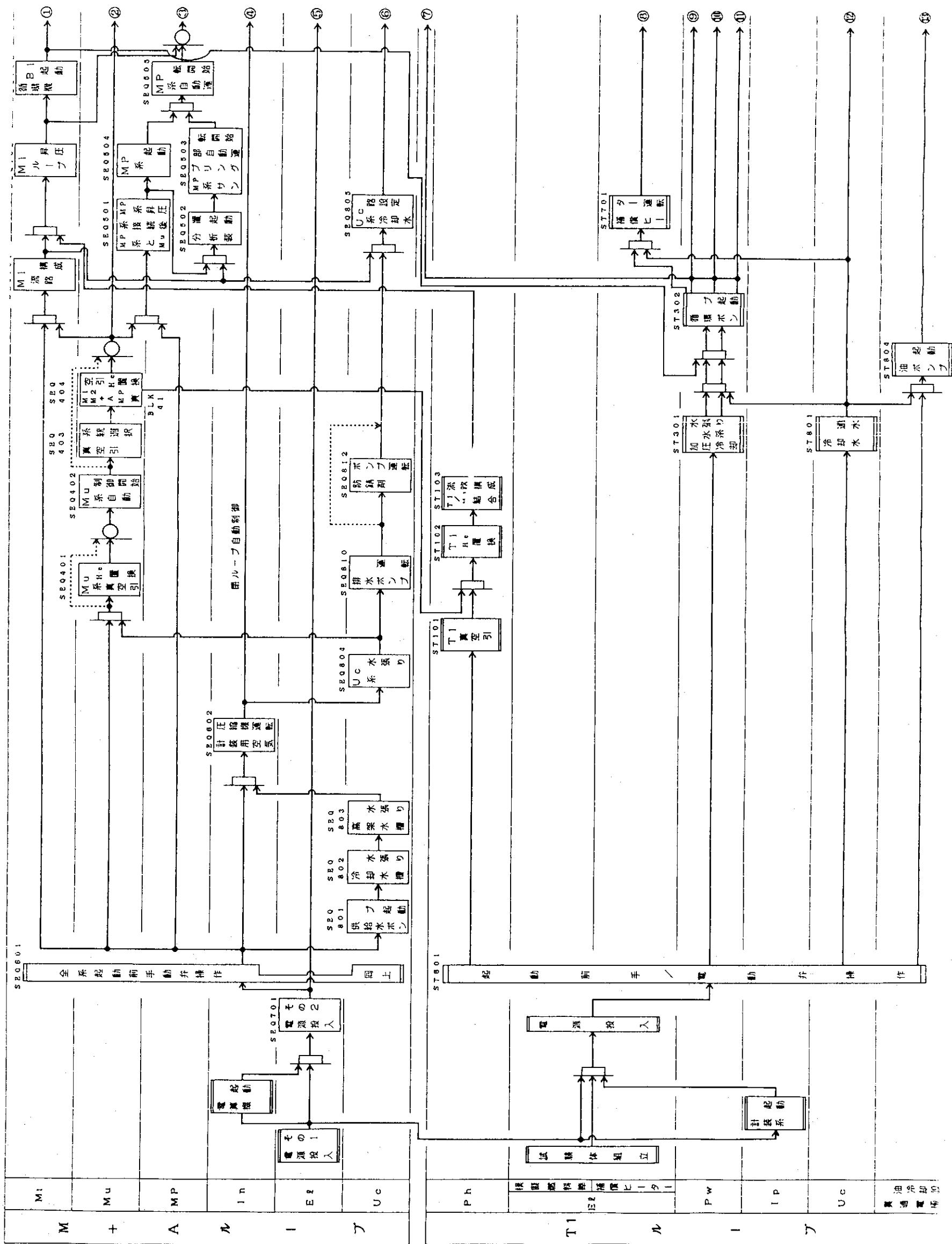


Fig. 3.1 Operation record on facilities of the HENDEL (71/71)



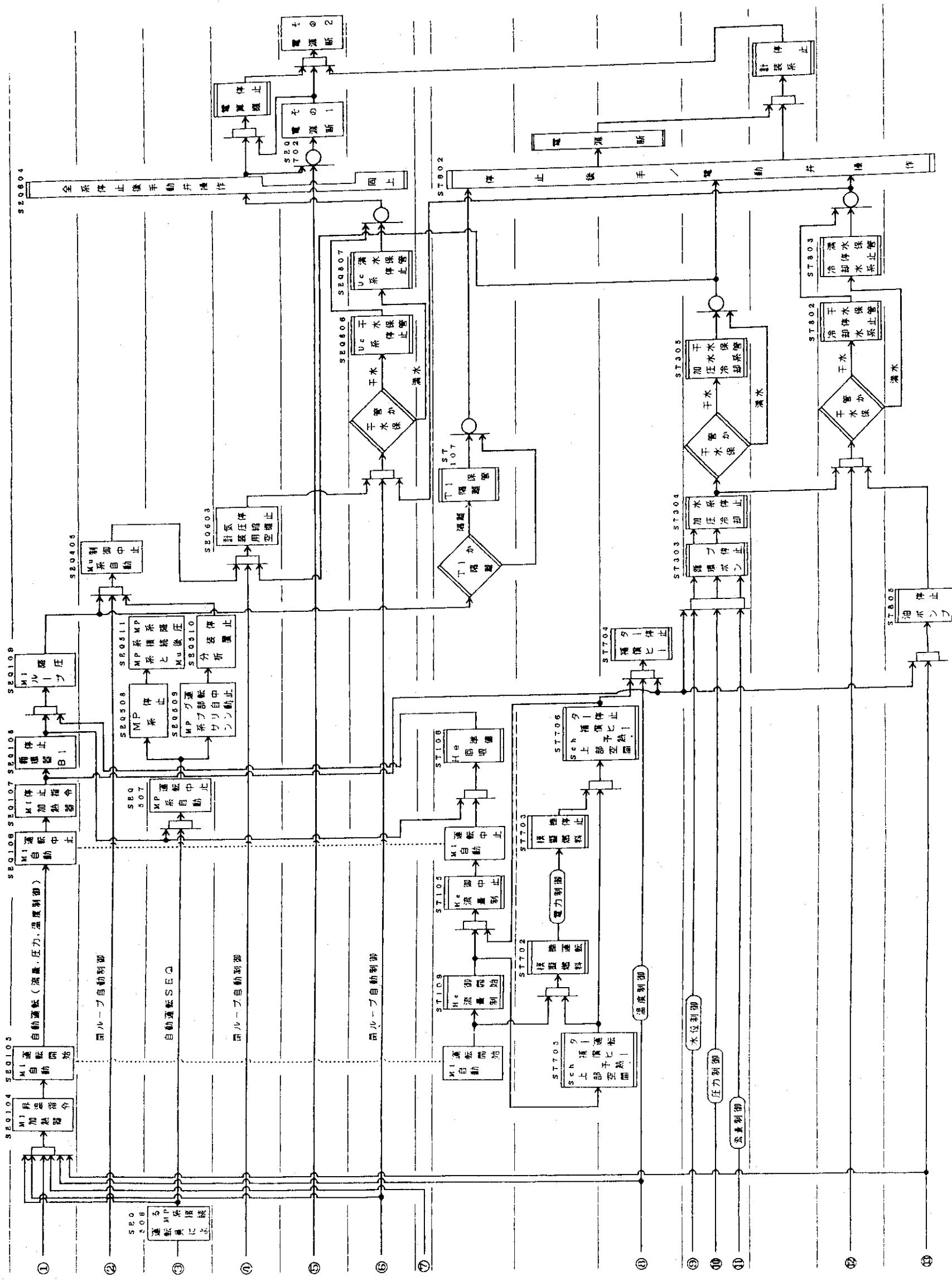
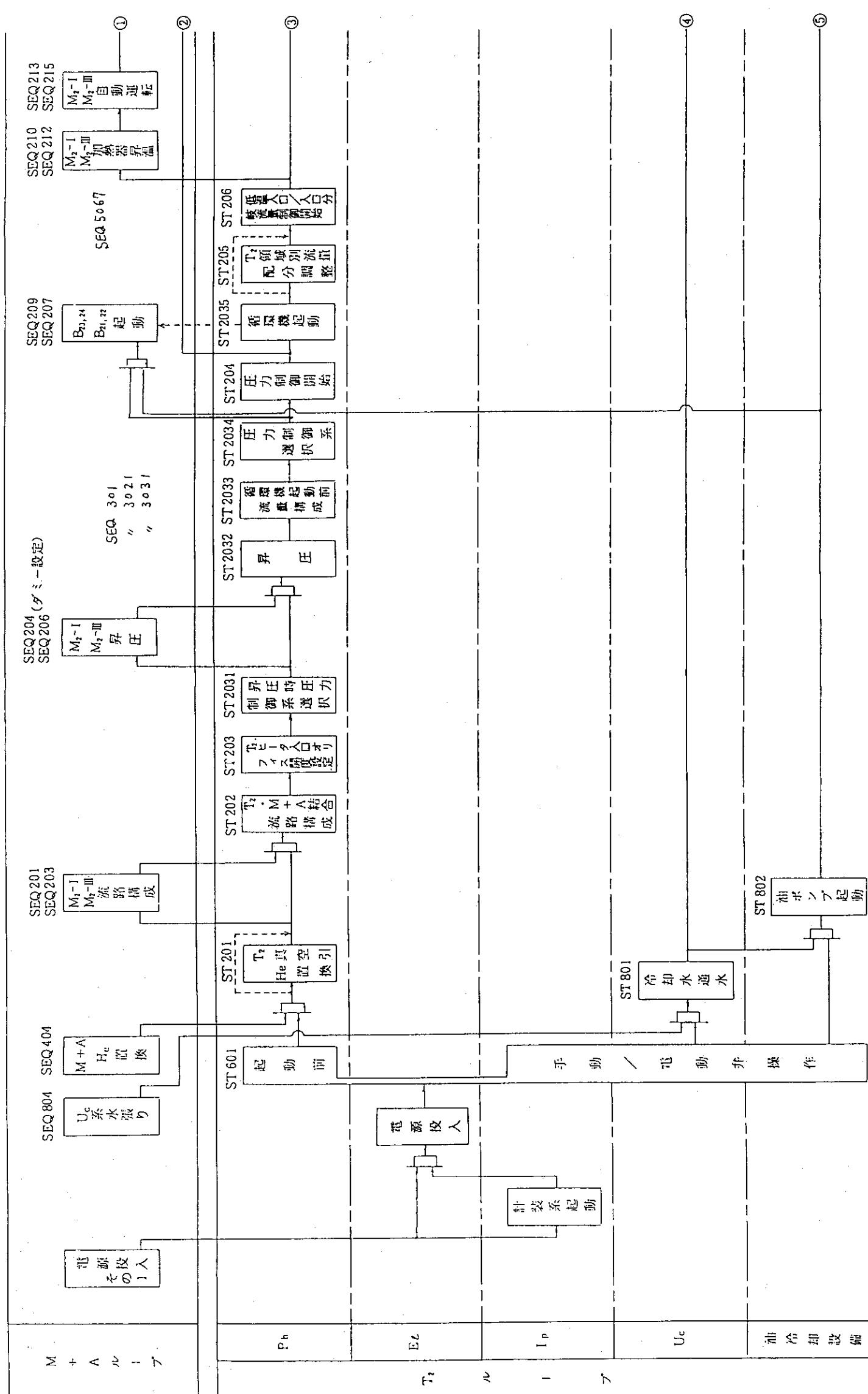
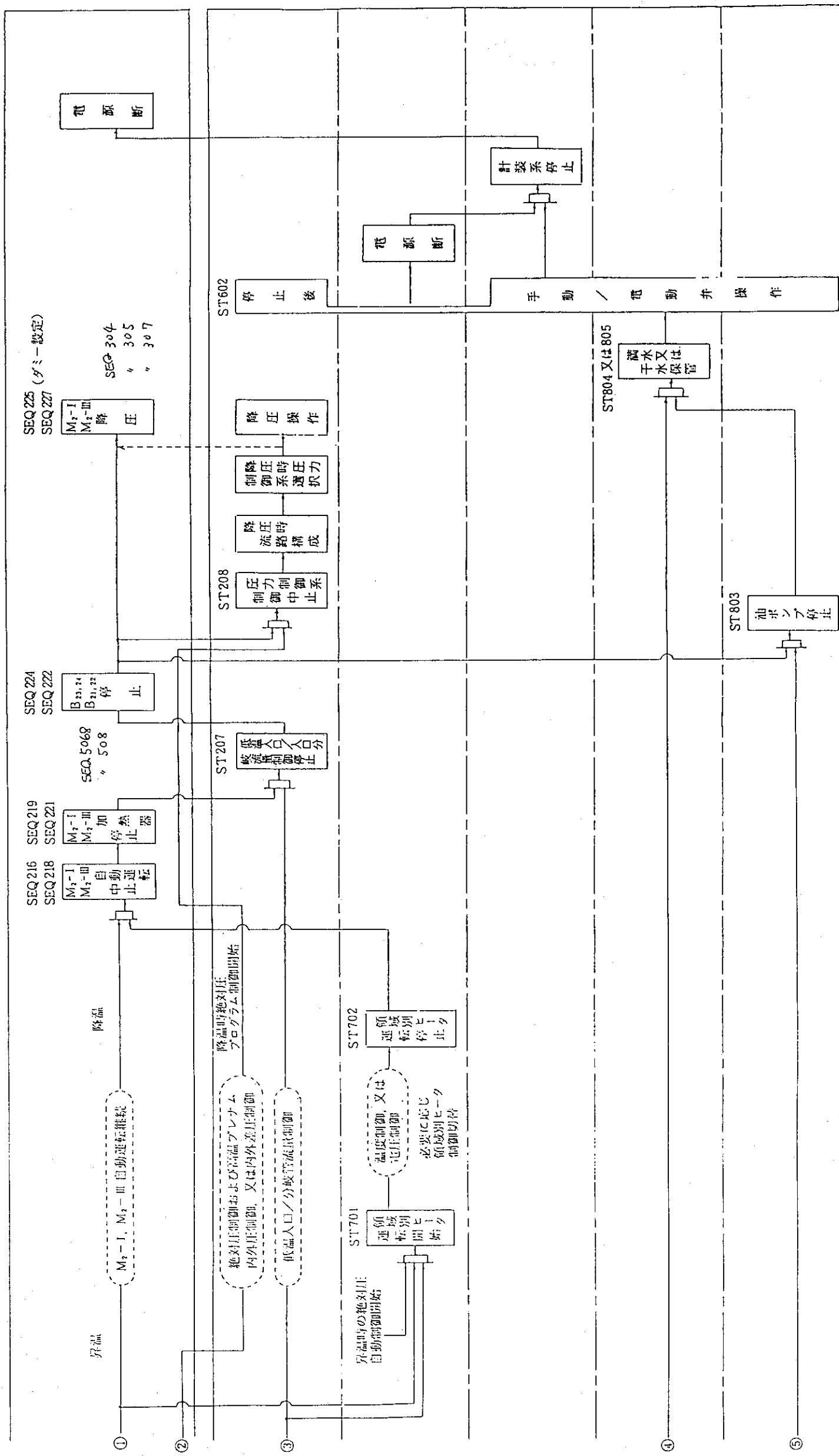


Fig. 3 2 Siemens flow chart of M+A+T₁(2/2)

Fig. 3.3 Sequens flow chart of M+A+T_z (1/2)

Fig. 3.3 Sequens flow chart of M+A+T_z (2/2)

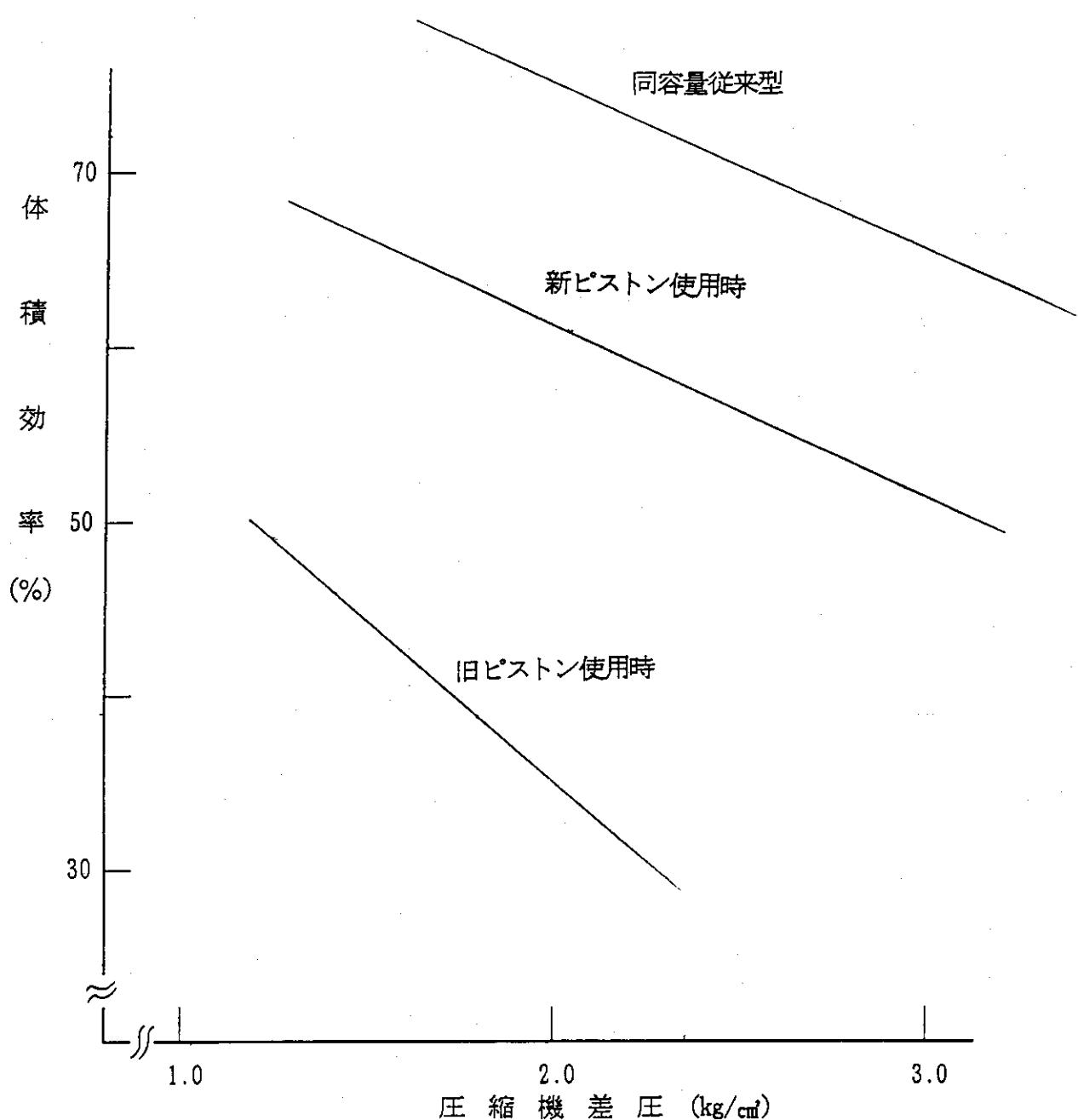


Fig. 3.4 Comparison of volume effects on helium compressor

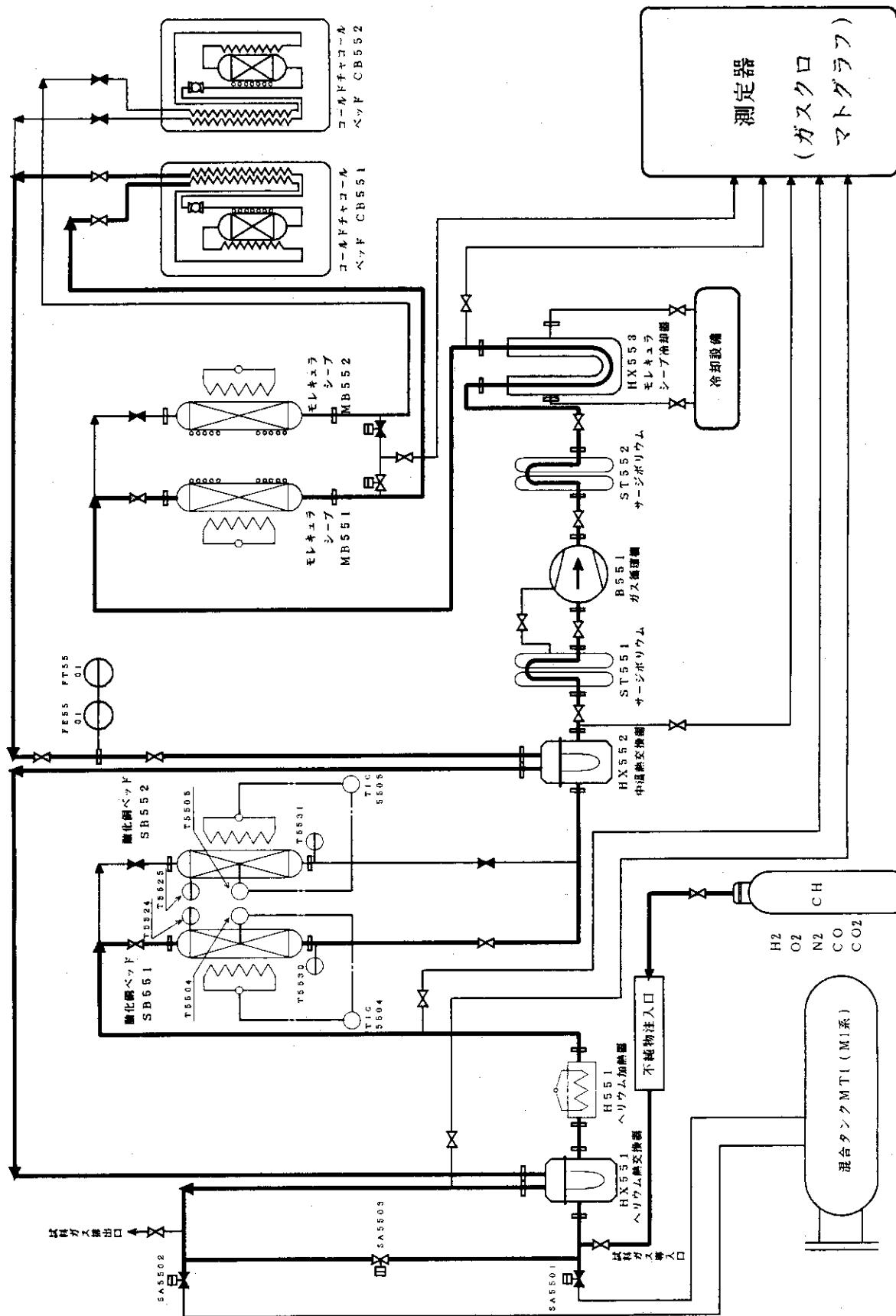


Fig. 3.5 Helium gas purification test system

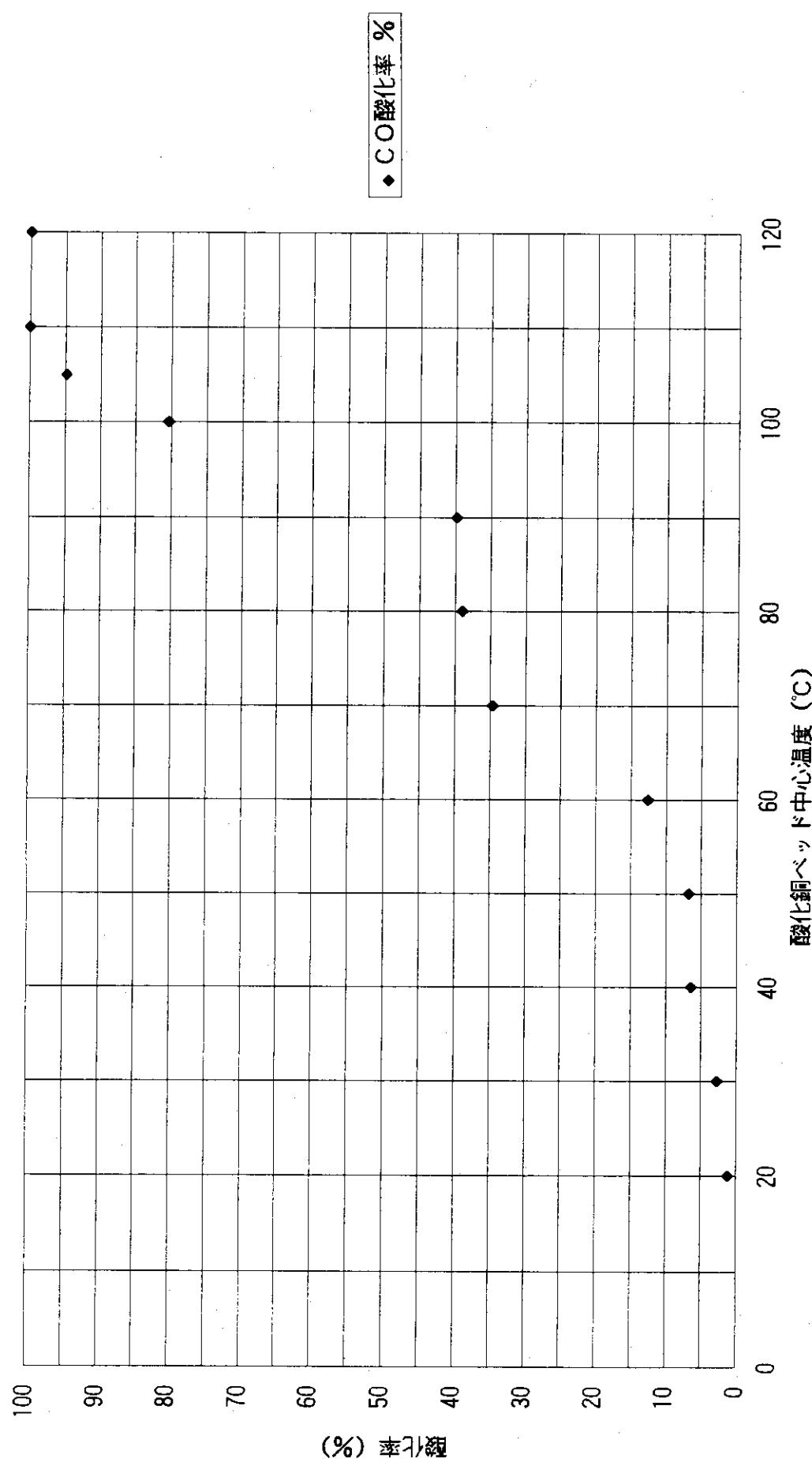
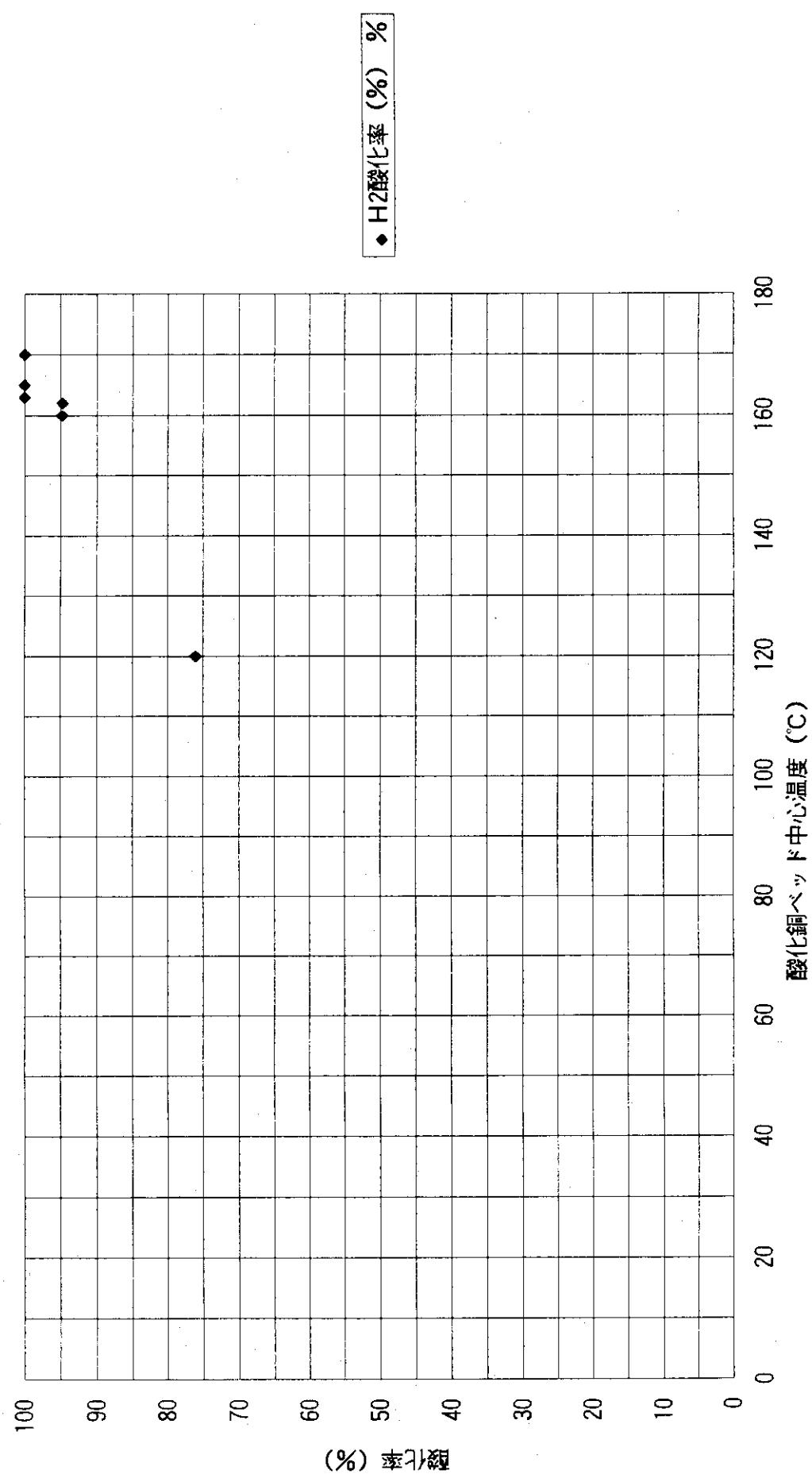


Fig. 3. 6 CO-oxidation characteristic on copper oxide beds

Fig. 3.7 H₂-oxidation characteristic on copper oxide beds