

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
2001. 6. 20
変更する。

[技術情報室]

高放射性廃液固化研究報告 (46)

マイクロ波熱上げ技術開発

Research Report on the Solidification of
High-Level Liquid Waste (46)

Development of Heating-up Technology by
Microwave Heating

1985年10月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

に配

り

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



高放射性廃液固化研究報告(46)

マイクロ波熱上げ技術開発

実施責任者 角田直己⁽¹⁾ 永木 裕⁽²⁾

報告者 檜原英千世, 五十嵐 寛
遠藤 昇, 村上 富美夫⁽³⁾
佐々木 憲明, 稲田 栄一⁽⁴⁾

要 旨

ガラス熔融炉熱上げ技術開発の一環としてマイクロ波加熱装置を製作し、マイクロ波加熱による熱上げ試験を行った。昭和56年3月に工学試験設備のBメルターにマイクロ波加熱装置を設置した。予備試験及び第1, 2回の熱上げ試験ではマイクロ波の拡散, メルターの電極の冷却の影響等により直接通電までに至らなかった。第3回の熱上げ試験では、電磁ホーンの改良を行う等の対策により、片側の一對の電極のみ通電可能となった。さらに改良を重ね、第5回目の熱上げ試験で実用可能な電磁ホーンを開発し、以降第13回までの熱上げ試験を行った。

以上の熱上げ試験の結果、直接通電開始に必要な所要電力、熱上げ所要時間に及ぼす各因子の影響、直接通電開始条件について検討した。

さらに、マイクロ波加熱技術をさらに進めるに当たっての課題を抽出した。

技術部リサイクル技術開発室

- (1) 現在 Pu 燃料部
- (2) 現在 転換技術開発部
- (3) 日本電気硝子(株)業務協力員
- (4) 現在 大洗工学センター廃棄物処理課

Research Report on the Solidification of
High-Level Liquid Waste (46)



Development of Heating-up Technology
by Microwave Heating

Hidechiyo KISHIHARA

Hiroshi IGARASHI, Noboru ENDO

Fumio MURAKAMI*, Noriaki SASAKI

and Eiichi INADA**

Summary

Microwave heating-up apparatus was developed to be applied to the heating up system of Joule heated ceramic melter for HLLW vitrification this apparatus was set on the engineering scale ceramic melter (B-melter) in FY 1981 in stead of the rid heaters which had been set on the melter.

In the preliminary, first and second test, Joule heating was imposible because of microwave dispersion and electrode cooling. In the third test, Joule heating was possible for only one pair of electrodes since electro-magnetic horn and operation were modified. And further improvements led to the design of electromagnetic horn which is fully compatible with Joule heated ceramic melter.

The electromagnetic horn of this design had been tested from the fifth to the thirteenth test.

The results of these tests include the maximum microwave power to start Joule-heated, the effects of operation on heating-up time and so on.

Fuel Cycle Technology Development Division, Recycling Technology
Development Section

* Nippon Electric Glass Co., Ltd.

** O-arai Engineering Center, Waste Management Section

目 次

1. はじめに	1
2. 目 的	1
3. マイクロ波加熱について	2
4. マイクロ波加熱装置	2
5. 熱上げ予備試験, 及び第1～4回熱上げ試験	4
6. 第5～13回熱上げ試験経過	5
7. 考 察	6
8. 今後の課題	7
9. 結 論	7
10. 参考文献	8

表 リ ス ト
List of Table

表-1	予備試験, 及び第1~第4回マイクロ波熱上げ経過 Preliminary and 1st~4th Heating-up Trial by Microwave Heating	9
表-2	マイクロ波熱上げ操作 Heating-up Operation by Microwave Heating	10
表-3	第5~13回マイクロ波熱上げ結果 Results of 5th~13th Heating-up by Microwave Heating	11

図 リ ス ト
List of Figure

図-1	アイソレーター Isolator	13
図-2	パワーモニター Power Monitor	14
図-3	スリースタブ (整合器) Three Stub	15
図-4	導波管 Wave Guide	16
図-5	仕切窓 Isolation Window	17
図-6	放電検出器 Discharge Detector	18
図-7	電磁ホーン (熱上げ予備試験) Electromagnetic Horn (Preliminary Heating-up Test)	19
図-8	マイクロ波熱上げ装置の概要 Microwave Heating-up Apparatus	20
図-9	第5回～熱上げ装置概略図 Joule Heated Ceramic Melter with Microwave Heating (from 5th test)	21
図-10	第5回マイクロ波熱上げ経過 5th Microwave Heating-up	22
図-11	第6回マイクロ波熱上げ経過 6th Microwave Heating-up	23
図-12	第7回マイクロ波熱上げ経過 7th Microwave Heating-up	24
図-13	第8回マイクロ波熱上げ経過 8th Microwave Heating-up	25
図-14	第9回マイクロ波熱上げ経過 9th Microwave Heating-up	26

図-15	第10回マイクロ波熱上げ経過 10th Microwave Heating-up	27
図-16	第11回マイクロ波熱上げ経過 11th Microwave Heating-up	29
図-17	第12回マイクロ波熱上げ経過 12th Microwave Heating-up	31
図-18	第13回マイクロ波熱上げ経過 13th Microwave Heating-up	33
図-19	炉内ガラスレベルと片側通電迄の熱上げ所要時間との関係 Effect of Glass Level on Heating-up Time up to Joule Heating	35
図-20	メルタ-運転時間と主電極間距離との関係 (北-1 ↔ 南-1) Distance between Electrodes with Cumulative Operation Time ..	36

写 真 リ ス ト
List of Photograph

写真-1	マイクロ波発振装置 Microwave Generator	37
写真-2	パワーモニター Power Monitor	37
写真-3	スリースタブ (自動制御型) Three Stub (automatic control type)	38
写真-4	スリースタブ (手動制御型) Three Stub (manual control type)	38
写真-5	導波管 Wave Guide	39
写真-6	仕切窓 Isolation Window	39
写真-7	放電検出器 Discharge Detector	40
写真-8	電磁ホーン (熱上げ予備試験) Electromagnetic Horn (Preliminary Heating-up Test)	40
写真-9	第3回熱上げ片測通電時の炉内状況 Melt Surface at Joule Heating between One-pair Electrode (3rd Heating-up)	41
写真-10	第5回～熱上げ装置 Joule Heated Ceramic Melter with Microwave Heating (from 5th test)	41

1. ま え が き

これまで、直接通電ジュール加熱セラミックメルターの熱上げ方式として、抵抗発熱体を用いた間接加熱方式について試験を行っている。抵抗発熱体の材料としては、工学規模のメルターであるA、B、モックアップ1、2号メルターで炭火珪素、Cメルターではカンタルスーパー（商品名、SiC：70%、MoSi₂ 30%）のヒーターが使用されている。間接加熱方式は、産業界での使用実績が豊富であるものの、折損した発熱体の遠隔交換操作が複雑であり、又上部構造が大型化し、メルター全体としても大型化する。さらに処理能力向上のために間接加熱を用いた場合（例えば米国サバンナリバーで経験がある。〔1〕）、発熱体の寿命が低下する。

そこで、高性能溶融炉の開発の一環として、より遠隔保守性に優れ、溶融炉の小型化、及び補助加熱による溶融能力の向上が期待できるマイクロ波加熱技術の開発を進めている。

昭和56年に工学規模のBメルターにマイクロ波熱上げ装置を設置し、以来マイクロ波による熱上げ試験を13回行ったので、その結果について報告する。

2. 目 的

マイクロ波熱上げ試験の主な目的は以下の通りである。

- (1) マイクロ波加熱を直接通電ジュール加熱セラミックメルターに適用する場合の問題点の把握
- (2) 必要電力の把握
- (3) 直接通電開始条件の把握
- (4) 熱上げ所要時間に及ぼすガラスレベル、電極間距離の影響の確認

3. マイクロ波加熱について^[2]

マイクロ波加熱により熱上げを行う場合、内部のガラス固化体、及び耐火物はマイクロ波が照射され、交流電界中に置かれる。この時、炉内材料には分極が誘起され、誘電分極は電界の変化に即座に対応できないので、電界変化に対していくらか遅れる。この結果、誘電体に流れる電流は電界に対して $(90^\circ - \delta)$ だけ進むことになり、次式で与えられる量の電力が消費される。

$$P = 2 \pi f \epsilon' \frac{V_0^2}{2} \tan \delta$$

$$= 2 \pi f \epsilon'' \frac{V_0^2}{2}$$

P : 1秒間に誘電体で消費されるエネルギー

f : マイクロ波周波数

V_0 : 最大電圧

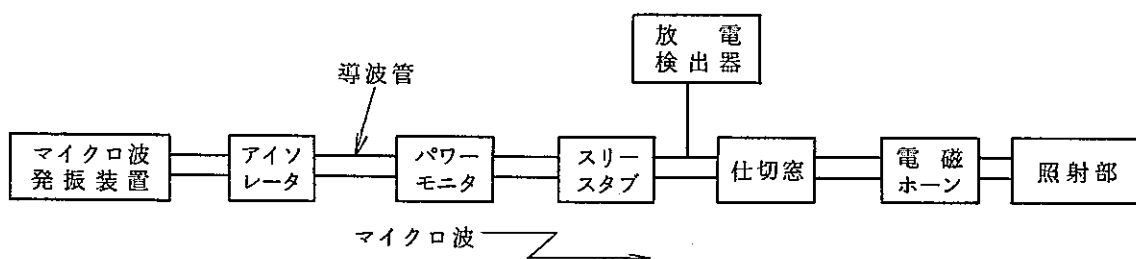
ϵ' : 比誘電率, ϵ'' : 誘電損率 (損失係数)

$\tan \delta \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right) = \text{誘電損失角}$

ϵ' , $\tan \delta$ は物質によって決まり、又温度や周波数によっても変化する。

4. マイクロ波加熱装置

Bメルター熱上げ試験で用いたマイクロ波加熱装置の構成を下図に示した。主な構成部品としてはマイクロ波発振装置、接続導波管系 (アイソレータ、スリースタブ、パワーモニター、放電検出器、導波管)、電磁ホーンに分けられる。



これらの配置を図 8 に示す。又、装置概要を以下に示す。

(1) マイクロ波発振装置

マイクロ波エネルギーを発生させる装置で、発振管としてマグネトロンを使用し、発振周波数は 915 MHz、定格出力 25 kW（第 4 回熱上げ試験からは 60 kW まで使用した）である。発振装置の外観を、写真-1 に示す。

(2) アイソレーター

発振装置と照射部間に使用し、照射部からの反射波を吸収して、発振装置を安定に動作させるためのものでサーキュレータ、ダミーロードから構成される。図-1 に、アイソレーターの概略図を示す。

(3) パワーモニター

発振装置から照射部へ向う入射電力、照射部から戻ってくる反射電力を監視するためのモニターである。次に述べるスリースタブ（整合器）を使用する場合に必要となる。図-2 にパワーモニターの概略図を示し、その外観を、写真-2 に示した。

(4) スリースタブ（整合器）

発振装置から出たマイクロ波電力を、照射部内の被加熱物に熱効率良く吸収させる（反射電力を小さくさせる）ための調整器である。図-3 にスリースタブの概略図を示し、その外観を写真-3, 4 に示した。25 kW のマグネトロンを最大出力 60 kW まで使用するようになった第 4 回の熱上げから自動制御型のスリースタブを用いることができなくなったので手動型に取替えた。

(5) 導波管

発振装置より出たマイクロ波エネルギーを、伝送するためのものである。図-4 に、導波管の概略図を示し、その外観を、写真-5 に示した。

(6) 仕切窓（仕切導波管）

熔融炉の運転中に発生するオフガスのマイクロ波電源側への移行を防止し、かつ、炉内負圧を維持するためのものである。材質はテフロンで、炉内雰囲気マイクロ波発振装置側に対し隔離している。図-5 に仕切窓の概略図を示し、その外観を、写真-6 に示した。

(7) 放電検出器

照射部内で放電が生じた場合、その発光を検出し電気信号に変換することにより放電を検知する装置である。図-6 に放電検出器の概略図を示し、その外観を、写真-7 に示した。

(8) 電磁ホーン

発振装置より出たマイクロ波電力を効率良く、照射部へ集中させるものである。図-7 に予備試験時の電磁ホーンの概略図を示し、その外観を、写真-8 に示した。

5. 熱上げ予備試験，及び第1～4回熱上げ試験

第1回熱上げ試験に先立ち，水冷式の電磁ホーン，及びベースを用いた熱上げ予備試験を行った。使用した電磁ホーンの構造，及び外観を図7，写真8に示す。この熱上げ予備試験ではマイクロ波が炉内で拡散し，炉壁に吸収されたためにガラスを十分に加熱することができず，直接通電にまでには至らなかった。この場合，電磁ホーン，ベースの変形，割れは認められなかった。

次に同じ電磁ホーンを用い，冷却水を停止し，外側にカオウールの断熱材を巻いて再度マイクロ波加熱を行ったが，電磁ホーンに生じた熱応力のために，ホーンとベースの溶接部からベースの片側に南北方向に割れが発生した。

第1～4回熱上げ試験結果の概略を表-1に示した。

第1回熱上げ試験では電磁ホーン及びベース部を自然方冷方式のものに変換して熱上げ試験を実施したが，マイクロ波が炉内で拡散し炉壁に吸収され，直接通電は出来なかった。又，ベース部に熱的変形が認められた。

第2回熱上げ試験ではマイクロ波の拡散を防ぐために電磁ホーン部にパイプを取付たものに交換して試験を行った。しかし，溶融槽中央部ガラスは溶融されたが，電極近傍のガラス温度が電極冷却水の冷却効果により上昇せず，直接通電迄には至らなかった。

第3回熱上げ試験では，一对の電極周辺のガラスを選択的に加熱する為，片側電極上に電磁ホーンを設置し，さらに電磁ホーンの開口を小さくし，中央部で分岐させた。又，炉壁へのマイクロ波の拡散を防ぐ為，電磁ホーン自体を炉内へ挿入すると共に電極冷却水を停止した。その結果，マイクロ波照射24時間後に片側通電が可能となった。片側通電直後の炉内状況を写真-9に示した。

第4回熱上げ試験においては，電磁ホーンを炉内に挿入しないで熱上げが可能となる様に以下の点について改良して熱上げ試験を実施した。

- 1) マイクロ波出力 25 → 60 kW (トランス改造 マクネトロンは25 kW用のまま)
 - 2) マイクロ波照射部の位置は片側電極上とした。
 - 3) 電磁ホーン下部で炉内壁面に沿って金属パイプを取付け，マイクロ波の拡散を防いだ。
- この結果，マイクロ波照射11時間47分後に片側通電が可能となった。

6. 第5～13回熱上げ試験経過

6.1 電磁ホーンの改造

予備試験結果、及び第1～4回熱上げ結果を踏え下記の改造を行い、熱上げ及び通常運転時に使用可能な構造とした。第5回の熱上げ試験での電磁ホーンを含め合計6つの電磁ホーンを製作したことになる。

(1) 電磁ホーン材質変更

SUS304をSUS310に変更した。これはSUS310はSUS304に比べより耐熱性に優れている為である。

(2) 電磁ホーンの構造変更

冷却のない構造から水冷構造（冷却水量60ℓ/min）に変更した。これは水冷することによりホーンの熱的変形を防ぎ、熔融運転時に取外しが不要となるからである。

(3) マイクロ波照射位置の変更

南-2、北-2の位置から南-1、北-1電極上に変更した。

電磁ホーン改造後の概略図を図-9に示し、その外観を写真-10に示した。

6.2 熱上げ方法及び条件

表-2にマイクロ波熱上げ時におけるメルター操作条件を示す。

(1) 炉内ガラス

カレット……水砕カレットを炉内に電極が露出しない量だけ投入したもの。

凝固ガラス…炉内にガラスを保有したままメルターを停止し、ガラスを固化させた状態

ガラス組成はPO288（G-2、廃棄物含有率30%wt%）であり、第10回のみ廃棄物含有率が23.6wt%である。

(2) 炉内圧力状態

第8、9、13回熱上げ試験のみ炉内を負圧の状態で行った。炉内圧力は-6～-37mmAqの範囲にあった。

6.3 結果

第5～13回熱上げ試験結果の概略を表-3に、又、熱上げにおけるメルター各部温度、電力の時間経過を図-10～18に示した。

直接通電開始に必要なマイクロ波加熱電力は最大約58kWであった。片側通電が可能となる迄の所要時間は炉内ガラスカレット状態でマイクロ波照射開始から8時間、炉内ガラス凝固状態でも8～14時間であった。又、二対の電極が直接通電するまでには10～54時間を要した。

7. 考 察

各熱上げ試験を通じて、直接通電可能となる電極ホルダー温度は約 300℃であった。尚、熱上げ時にはホルダーには冷却水の通水を行わなかった。

一対の片側電極間直接通電までの熱上げ所要時間に影響を及ぼす各因子について以下に述べる。

(1) 炉内ガラスの状態の影響

図-19に示すように炉内ガラスが同重量（熔融時に同レベル）であれば、カレット状態の方が炉内凝固状態に比べ通電所要時間が短い傾向がある。これはカレットの断熱性によるものと考えられる。

(2) ガラスレベルの影響

直接通電までに要する所要時間と炉内ガラスレベルの関係を図-19に示す。炉内ガラス状態によるが、直接通電所要時間はPO288 ガラスに対しては6～11時間であった。第12回の熱上げ試験を除けば、ガラスレベルが高くなると直接通電所要時間は長くなる傾向が認められた。

(3) 電極間距離の影響

直接通電所要時間には電極間距離の影響も考えられる。しかし、第6回、第9回の電極間距離、及び直接通電所要時間を比較する限り、40mm程度の電極間距離の変化は、通電所要時間へ大きく影響しないようである。（図-20参照）又、電極間距離が最大約550mmまでは直接通電開始が可能である。

(4) オフガス処理系運転の影響

オフガス処理系の運転に伴う熱損失による熱上げ機能の低下が予想されたが、炉内を負圧（-6～37mmAq）に保ちつつ3回の熱上げ試験を行った結果、直接通電までの所要時間が特に長くなるという現象は認められなかった。

8. 今 後 の 課 題

マイクロ波加熱のガラス溶融炉への適用に向けて、今後、検討すべき項目を以下に示す。

- (1) 電磁ホーン
 - 小型化
 - 炉内の金属棒に代るマイクロ波集中法
 - 水冷方式に代る冷却法
- (2) 仕切窓
 - 耐放射線，耐熱性，耐震性を考慮した構造，材料選定
 - 粉塵付着防止法
- (3) 放電検出法
- (4) 直接通電と併用したマイクロ波加熱による補助加熱効果の確認
これにより溶融能力の向上，メルターの小型化を計る。
- (5) 整合の自動化
- (6) 熱上げ操作の自動化
- (7) マイクロ波漏洩防止対策
- (8) High レベルでの熱上げの可否
- (9) 炉内材料へのマイクロ波吸収特性の把握
- (10) 炉内のマイクロ波電力密度分布の把握
- (11) 遠隔保守技術の検討

9. 結 論

- (1) 電磁ホーンの改良，マイクロ波出力の上昇，熱上げ時の電極冷却水通水停止等の対策の結果，マイクロ波加熱による熱上げに成功した。
- (2) 直接通電開始に必要なマイクロ波加熱電力は最大で 58 kWであった。
- (3) 同重量の炉内ガラス重量ではカレット状態の方が炉内凝固状態に比べ直接通電までの熱上げ所要時間が短い。
- (4) 片側一対の電極間通電に必要な熱上げ所要時間は約 8～14時間で，二対の電極間で直接通電するまでには10～54時間を要した。
- (5) ガラスレベルが上昇する程，直接通電開始までの熱上げ所要時間は長くなる傾向にあった。
- (6) 電極間距離が直接通電までの熱上げ所要時間に及ぼす影響は特に認められなかった。
- (7) 直接通電可能となる電極ホルダー温度は約 300℃であった。
- (8) オフガス処理系の運転が熱上げ所要時間に影響を与えることはなかった。

10. 参 考 文 献

〔1〕 M.D.Boersma, " Process Technology for Vitrification of Defence High-Level Waste at The Savannah River Plant " Proceedings of Fuel Reprocessing and Waste Management August 26 - 29 1984 Jackson Wyoming.

〔2〕 例えば

功刀雅長編「無機材料科学」誠文堂新光社 東京, P 46 (1972)

謝

辞

試験の実施に当り、当時業務協力員として日本電気硝子（株）から派遣されていた中村利夫氏の協力に対し謝意を表します。

表-1 予備試験, 及び第1~第4回マイクロ波熱上げ経過

Preliminary and 1st ~ 4th Heating-up Trial
by Microwave Heating

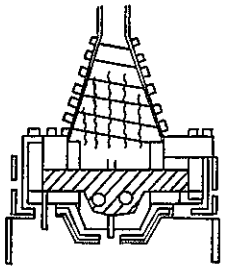
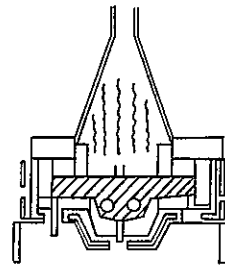
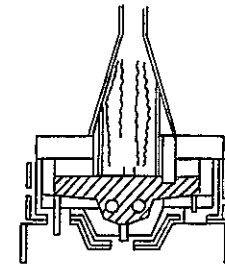
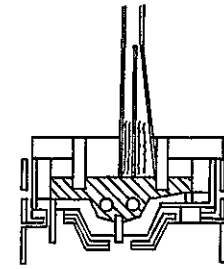
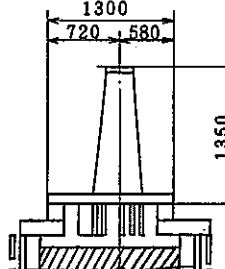
No		予備試験	1	2	3	4
マイクロ波熱上げ装置	概略図					
	*改善項目	水冷パイプによる水冷方式	自然放冷	自然放冷	自然放冷	自然放冷
	電磁ホーン材質	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304	SUS 304
	マイクロ波最大出力 出力実績	25 kW	25 kW	25 kW	25 kW	60 kW 29.4~52.8 kW
メーター条件	炉内ガラス状態	カレット 245 kg	カレット 245 kg	カレット 245 kg	カレット 245 kg	カレット 245 kg
	炉内圧力状態	開放	開放	開放	開放	開放
	電極ホルダー冷却水	通水	通水	通水	STOP	マイクロ波照射側冷却水STOP, 非照射側は4ℓ/min通水
通電所用時間	通電可否	否	否	否	可(片側のみ)	可
	マイクロ波照射開始から片側通電迄の時間				24:00	11:47
	マイクロ波照射開始から両側通電迄の時間					18:15
備考	冷却水を通水した場合としない場合との2通りの条件で試験を行った。通水しない場合はホーンにカオウールを巻いた。ベース部にクラックの発生が認められた。	マイクロ波が炉壁に拡散吸収された。	メルター中央部のガラスは熔融出来たが, 電極冷却水の冷却効果が強く電極周辺のガラスは温度上昇出来なかった。			

表-2 マイクロ波熱上げ操作

Heating-up Operation by Microwave Heating

操 作	メルター条件経過
マイクロ波照射	
メルター電圧印加 (300V, 電圧制御)	電極ホルダー(北-1, 南-1)温度が所定温度(過去の実績で300℃)に達する。
	片側通電(北-1, 南-1)
	電力値 7~8 kW (電流値 23~27 A)
北-1, 南-1 電極冷却 水通水 (10 ℓ/min)	
	電力値 20 kW (電流値 65~70 A)
マイクロ波停止	
	電力値 50 kW (電流値 170 A)
電 圧→定電力制御切替	
50 kW	
↓	
60 kW	
定電力→定電流制御切替	電流値 320 A
320 A	
定電流→定電力制御切替	両側通電
50~60 kW	
	メルター保持

表-3 第5~13回マイクロ波熱上げ結果

Results of 5th~13th Heating-up by Microwave Heating

No		5	6	7	8	9	10	11	12	13											
試験日		S57 1/18~1/19	S57 2/16~2/17	S57 5/6	S57 6/30~7/1	S57 8/17~8/18	S58 1/6~1/7	S58 4/5~4/7	S58 5/10~5/12	S58 6/21~6/23											
熱上げ装置	電磁ホーン材質	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310	SUS 310											
	マイクロ波最大出力	60KW	60KW	60KW	60KW	60KW	60KW	60KW	60KW	60KW											
	出力実績	30~56KW	39.5~58.3KW	42.4~50.6KW	46.5~49KW	36~50KW	45.3~52KW	26.3~56.5KW	28.5~53.8KW	35.8~55.8KW											
メルト条件	炉内ガラス状態	カレット 245kg Bottom~ 435mm上り	ガラス固化 推定 301kg Bo~ 292mm上り	ガラス固化 推定 243kg Bo~ 248mm上り	ガラス固化 推定 243kg Bo~ 248mm上り	ガラス固化 推定 300kg Bo~ 278mm上り	ガラス固化 推定 325kg Bo~ 296mm上り	カレット 261kg Bo~ 480上り 熱上げ中 60kg投入 (直接通電中)	ガラス固化 推定 300kg Bo~ 290mm上り	ガラス固化 Bo~ 270mm上り 熱上げ中 50kg投入 (直接通電中)											
	炉内圧力状態	開放	開放	開放	負圧-6~-19mmH ₂ O	負圧-10~-25mmH ₂ O	開放	開放	開放	負圧-29~-37mmH ₂ O											
	炉内ガラス組成	PO 288	PO 288	PO 288	PO 288	PO 288	G-2で廃棄物含有率は23.6%	PO 288	PO 288	PO288+PO699											
	電極ホルダー冷却水	マイクロ波照射側 STOP マイクロ波非照射側 4ℓ/minで通水	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左											
片側通電時のメルト条件	片側通電迄の所要時間	6:25	10:40	8:20	9:09	10:27	13:40	7:26	8:20	8:55											
	*側壁表面温度(°C)	800	800	820	800	810	860	820	850	805											
	*側壁内 50mm内側温度(°C)	760	785	785	800	805	850	800	800	790											
	*側壁内 100mm内側温度(°C)	280	355	350	360	375	495	320	400	400											
	炉内雰囲気温度(°C)	195	435	422	390	420	620	445	480	470											
	ガラス素地温度(°C)	-	-	422	330	435	650	-	-	-											
	ボトム温度(°C)	200	180	200	150	160	185	200	160	160											
	北-1電極ホルダー温度(°C)	325	300	300	305	305	343	310	310	325											
南-1電極ホルダー温度(°C)	310	310	300	320	315	332	315	315	310												
両側通電時のメルト条件	両側通電迄の所要時間	北-2通電 10:10 南-2通電 10:32	北-2通電 19:45 南-2通電 19:13	北-2通電 11:41 南-2通電 11:23	北-2通電 14:20 南-2通電 14:15	北-2通電 16:24 南-2通電 16:37	北-2通電 19:40 南-2通電 21:50	北-2通電 30:12 南-2通電 54:01	北-2通電 49:46 南-2通電 24:46	北-2通電 30:15 南-2通電 48:57											
	*側壁表面温度(°C)	620	630	655	640	665	675	677	680	680	680	735	730	660	590	570	680	670	625		
	*側壁内 50mm内側温度(°C)	605	605	610	615	635	640	630	630	640	640	640	640	710	680	610	570	550	630	625	600
	*側壁内 100mm内側温度(°C)	325	325	380	370	365	362	360	360	360	360	360	360	450	440	400	380	390	400	400	400
	炉内雰囲気温度(°C)	285	300	620	625	580	580	630	630	610	610	610	610	645	625	580	480	570	635	590	530
	ガラス素地温度(°C)	-	-	-	-	1090	980	940	940	1050	1050	1080	970	-	-	1130	-	1040	1040	1040	1040
	ボトム温度(°C)	195	190	260	250	180	180	150	150	140	140	175	190	310	340	330	250	280	305	305	
	北-1電極ホルダー温度(°C)	110	115	155	150	160	160	145	150	130	155	130	220	185	265	170	155	170	250	250	
南-1電極ホルダー温度(°C)	90	100	180	135	180	120	160	135	120	120	115	120	170	180	255	145	160	165	165		
備考	*ボトムより405mm上		1.反射波によるマイクロ波装置トラブル 1.マイクハロCut時期ミスによる再照射														1.放電の為マイクロ波一時停止				

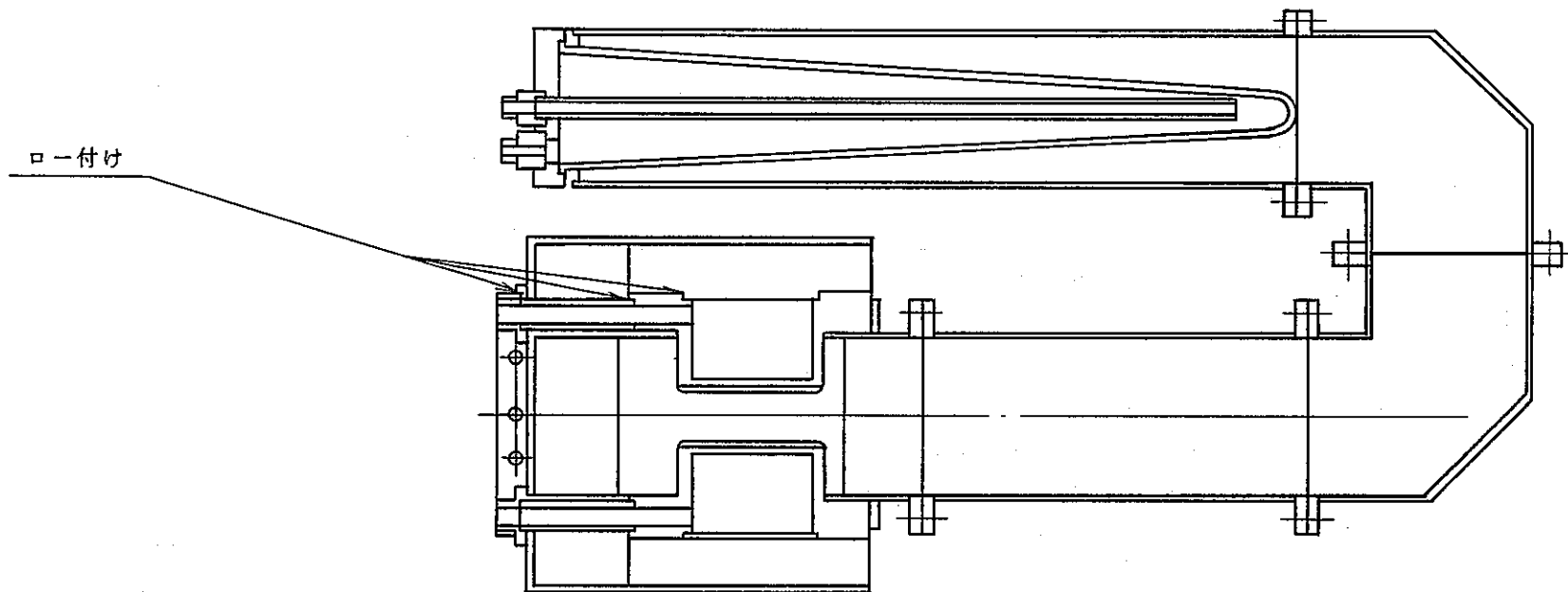


図-1 アイソレーター
Isolator

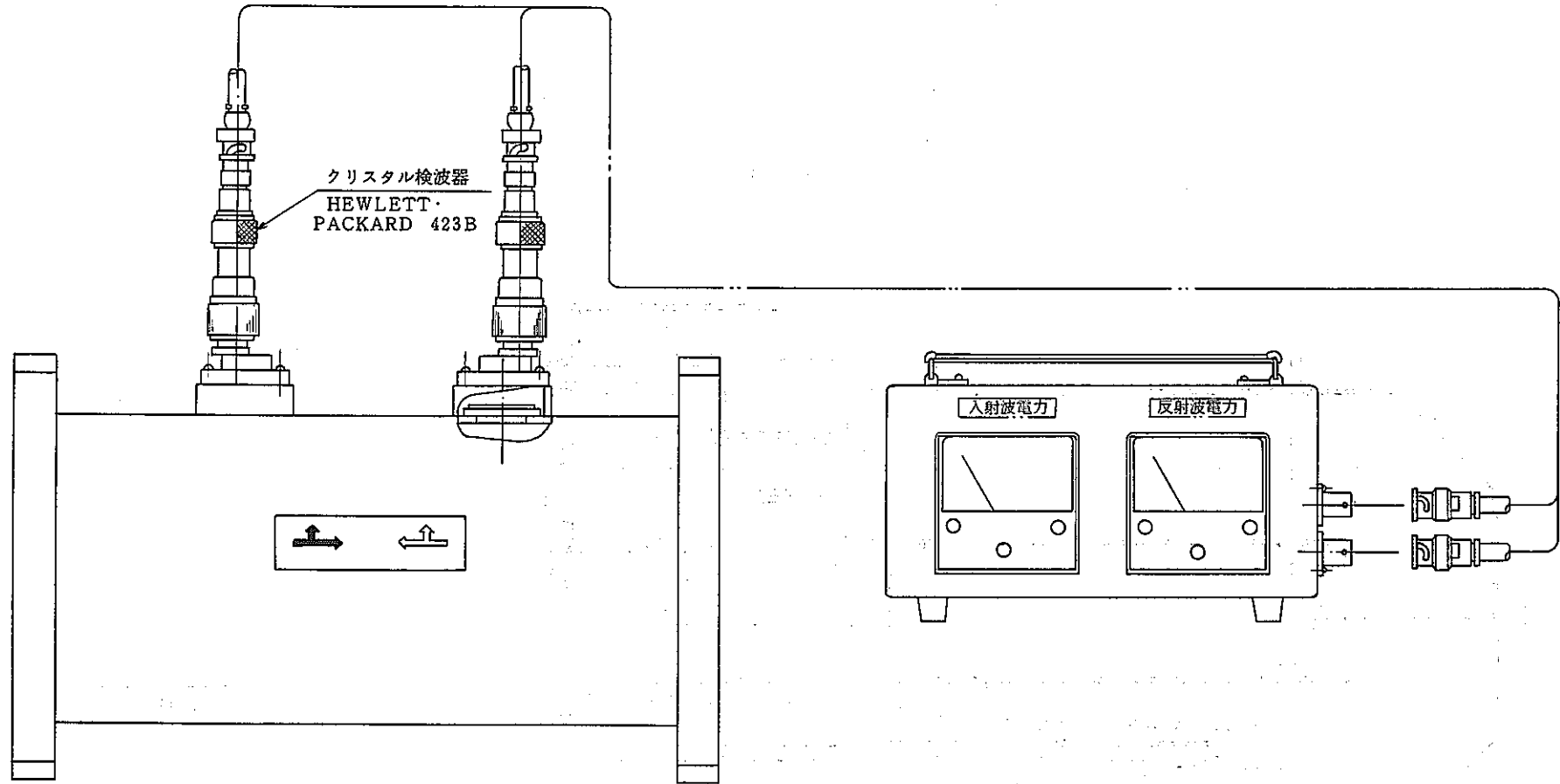
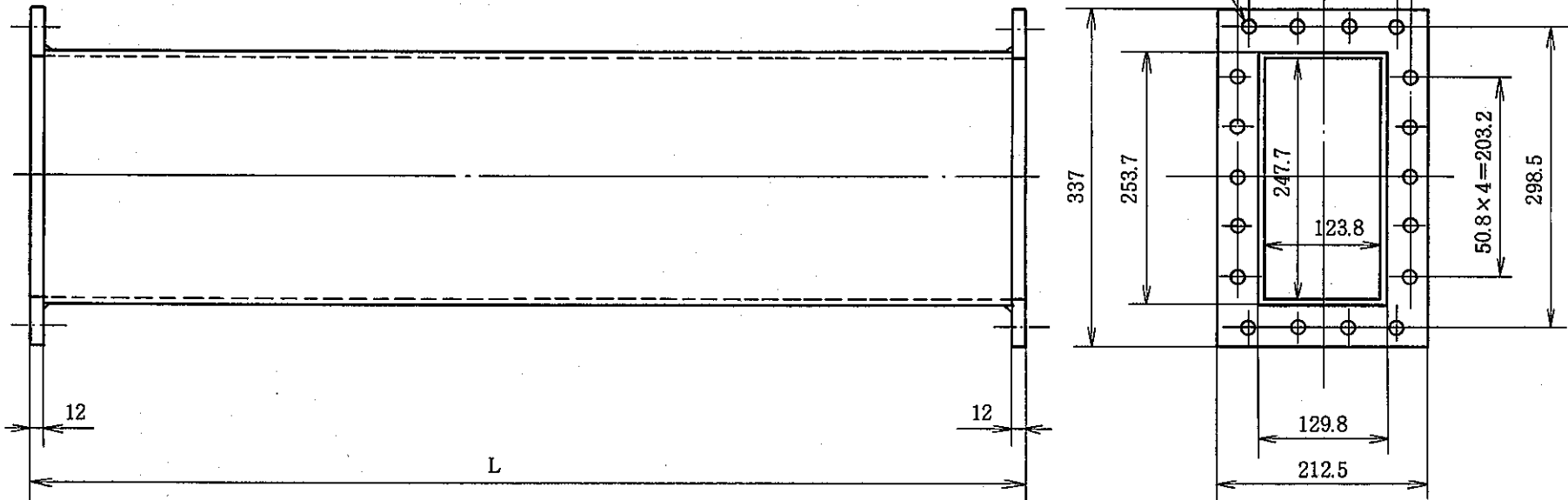


図-2 パワーモニター
Power Monitor

表 - 1

長さ L	本数
2000	2
1935	1
1425	1
380	1



注 Lは表1に示す

図-4 導波管
Wave Guide

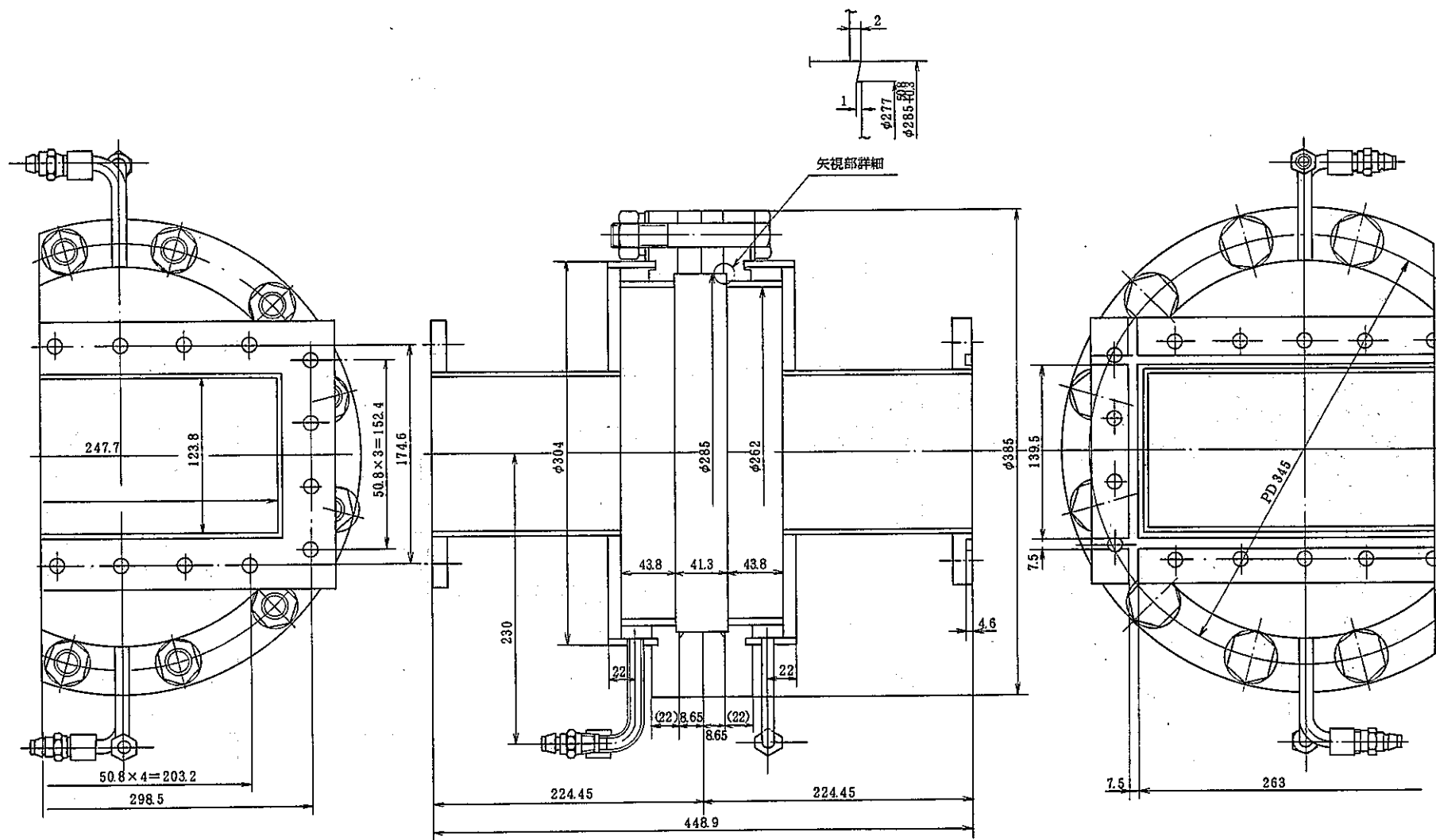
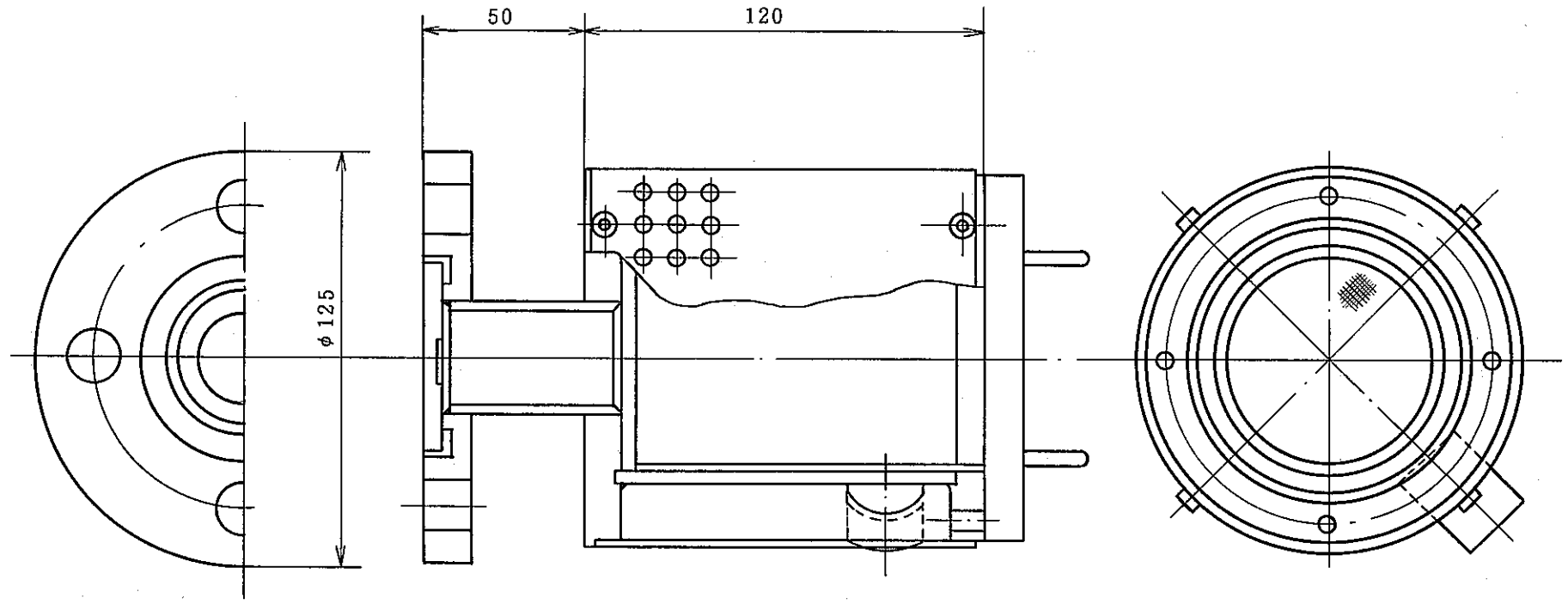


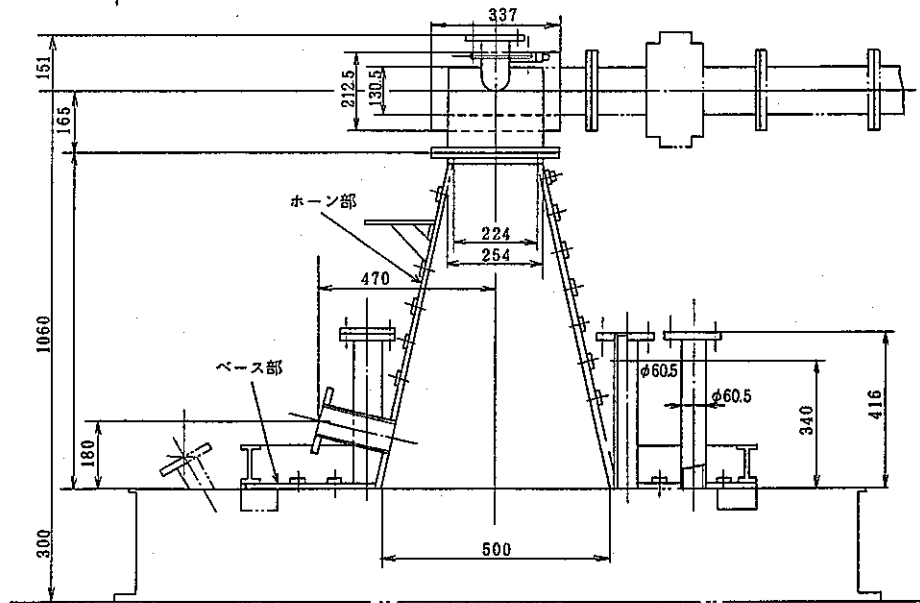
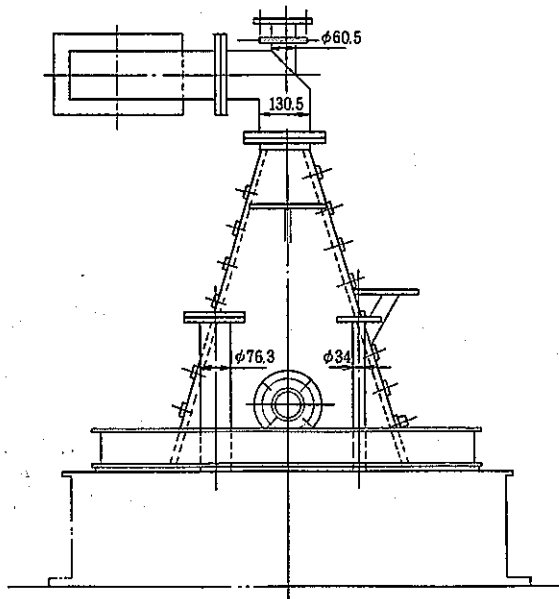
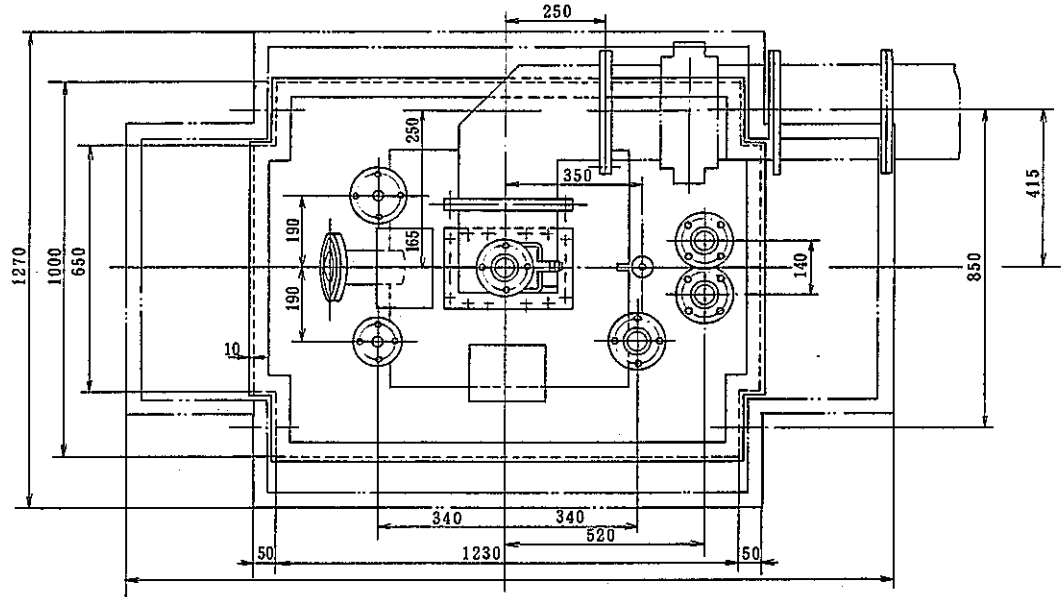
図-5 仕切窓
Isolation Window



全図溶接 上に出ない様

図-6 放電検出器
Discharge Detector

図-7 電磁ホーン (熱上げ予備試験)
 Electromagnetic Horn (Preliminary Heating-up Test)



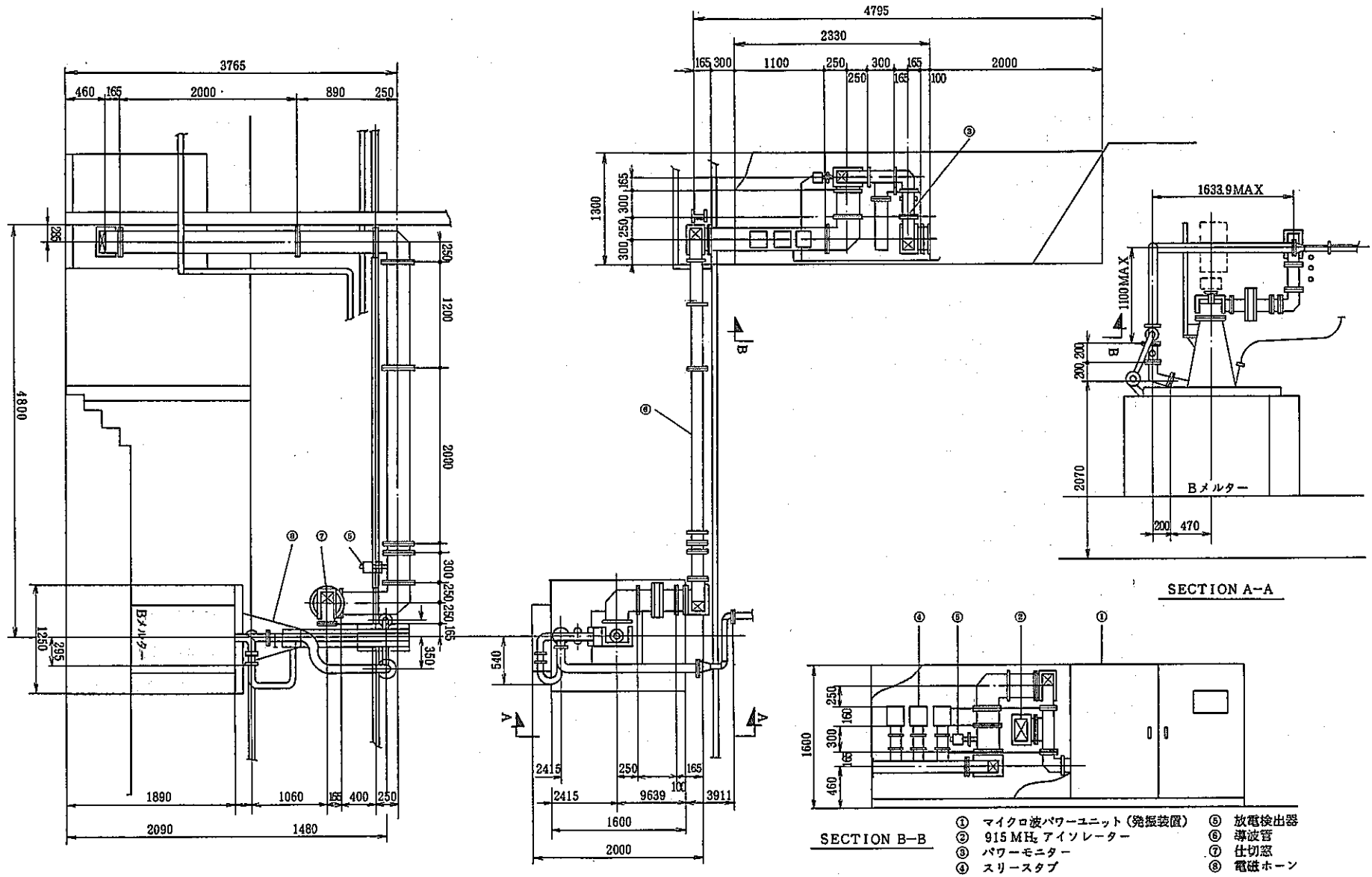


図-8 マイクロ波熱上げ装置の概要
Microwave Heating-up Apparatus

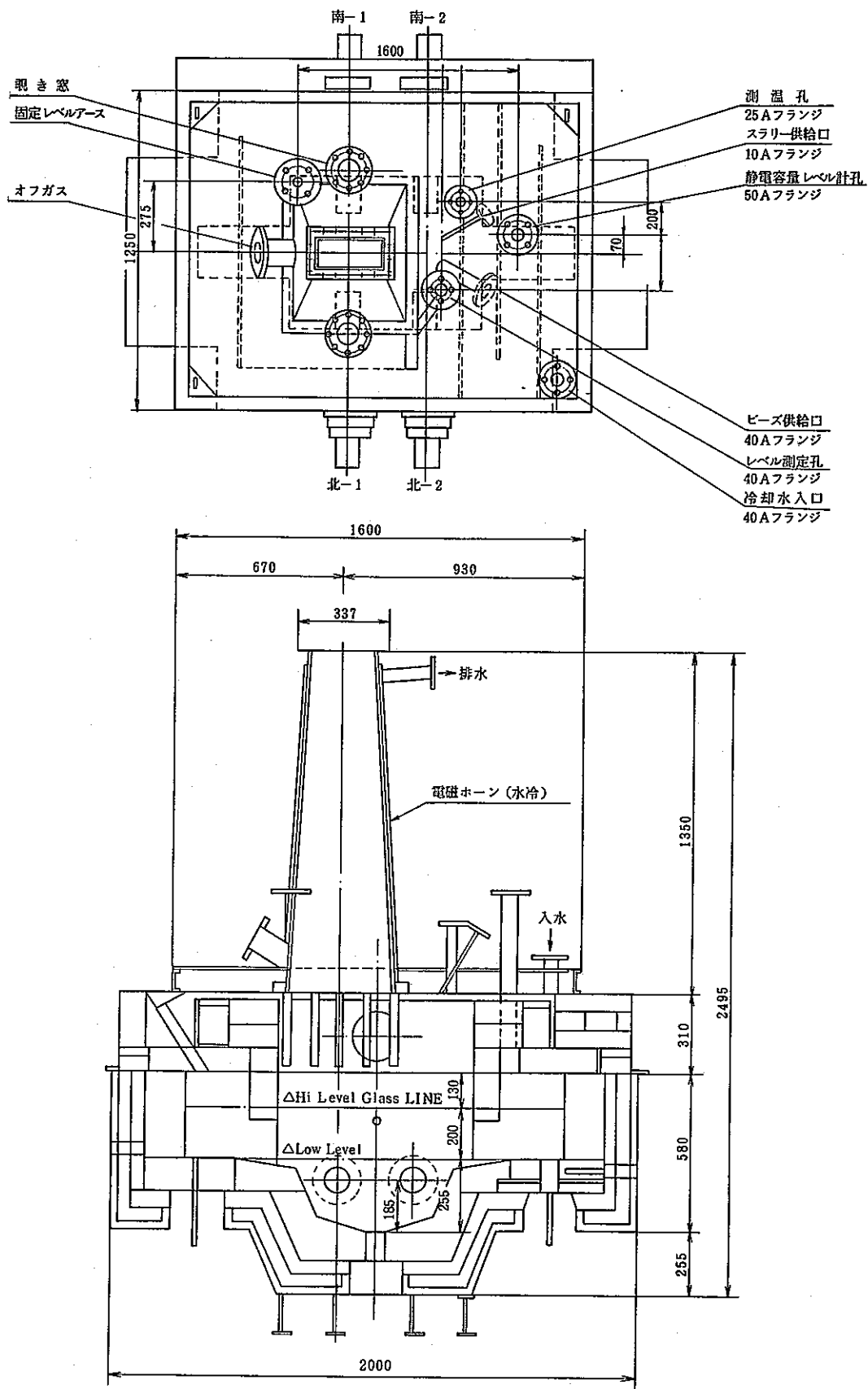


図-9 第5回～熱上げ装置概略図

Joule Heated Ceramic Melter with Microwave Heating
(from 5th test)

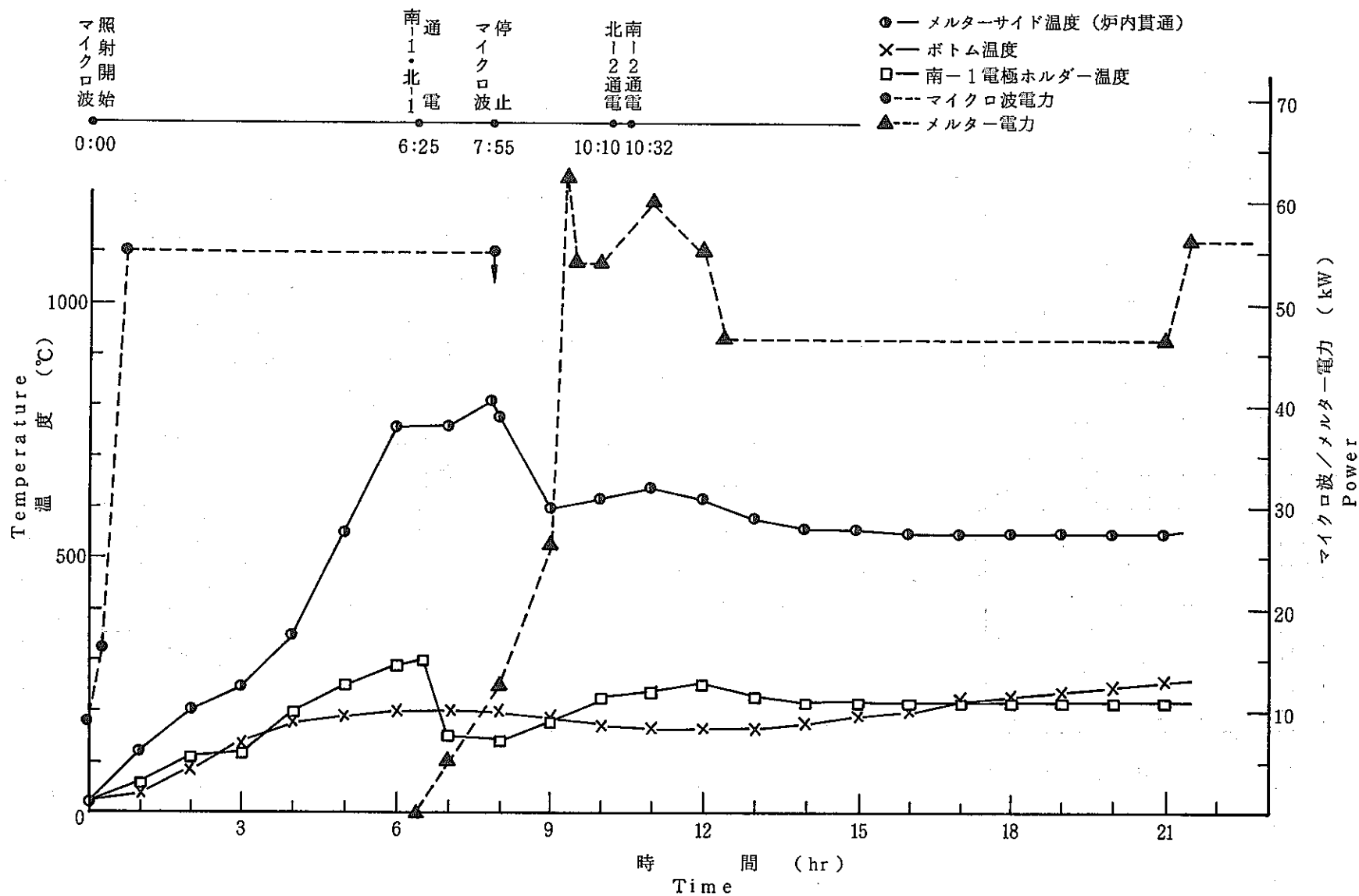


図-10 第5回マイクロ波熱上げ経過
5th Microwave Heating-up

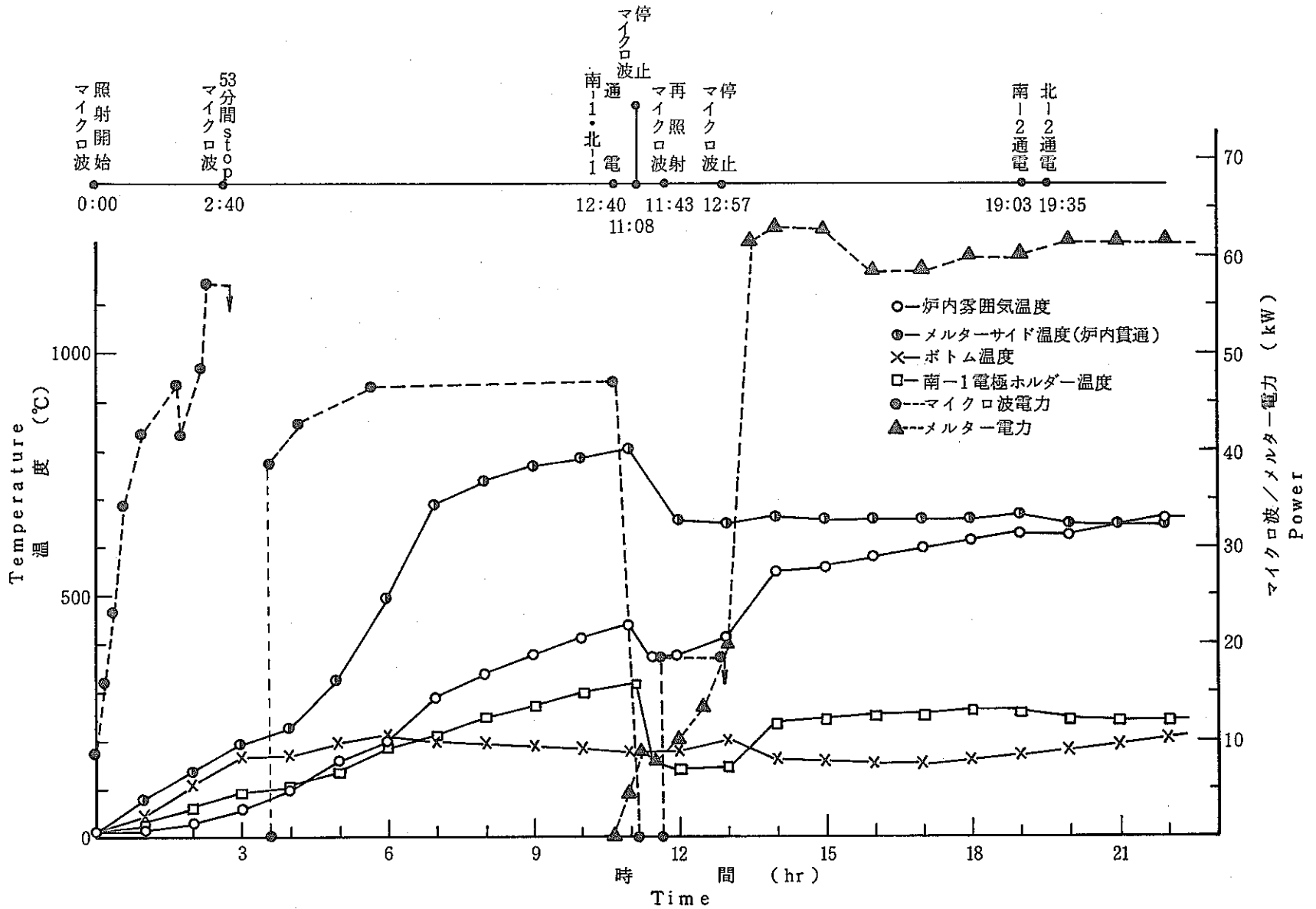


図-11 第6回マイクロ波熱上げ経過
6th Microwave Heating-up

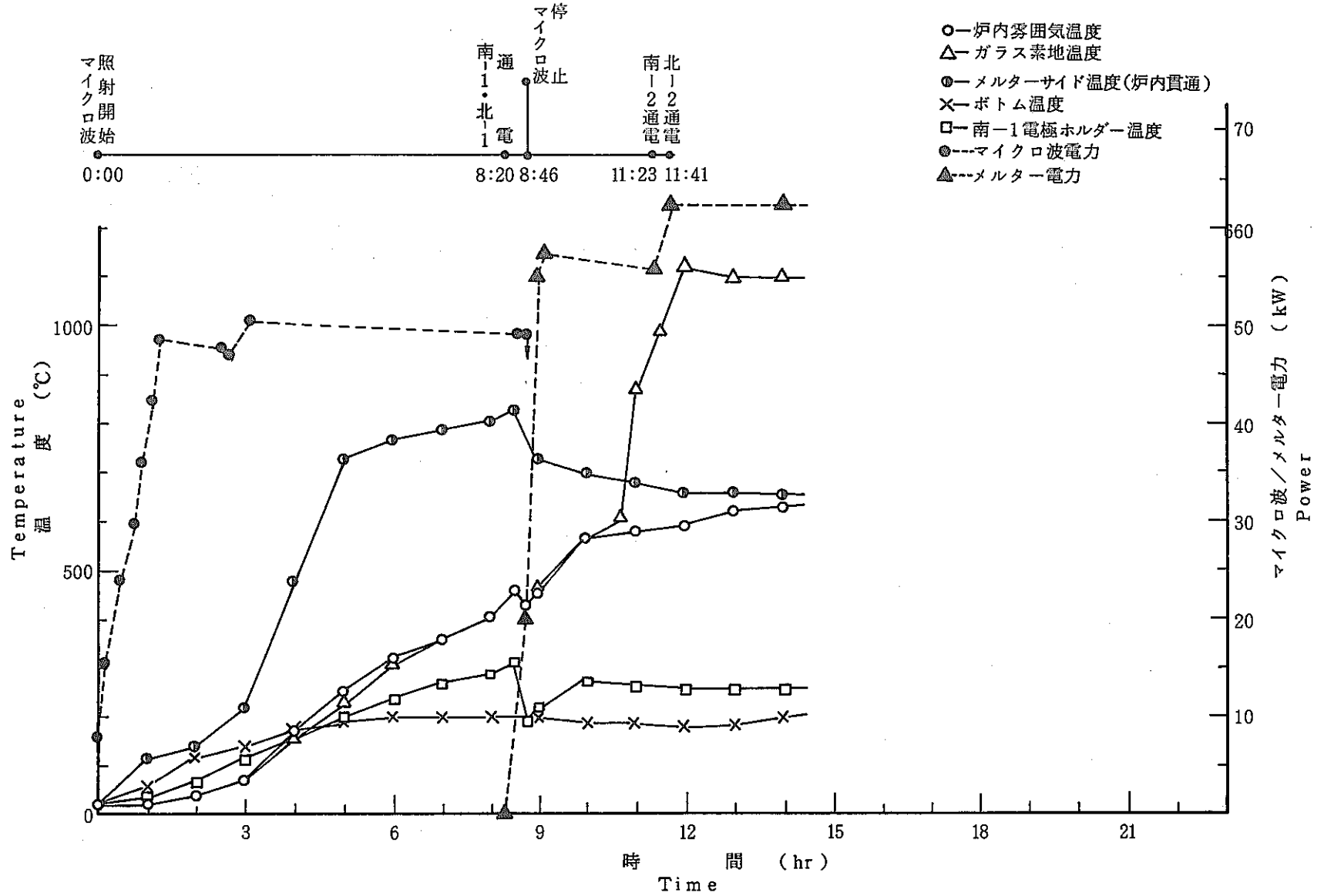


図-12 第7回マイクロ波熱上げ経過
7th Microwave Heating-up

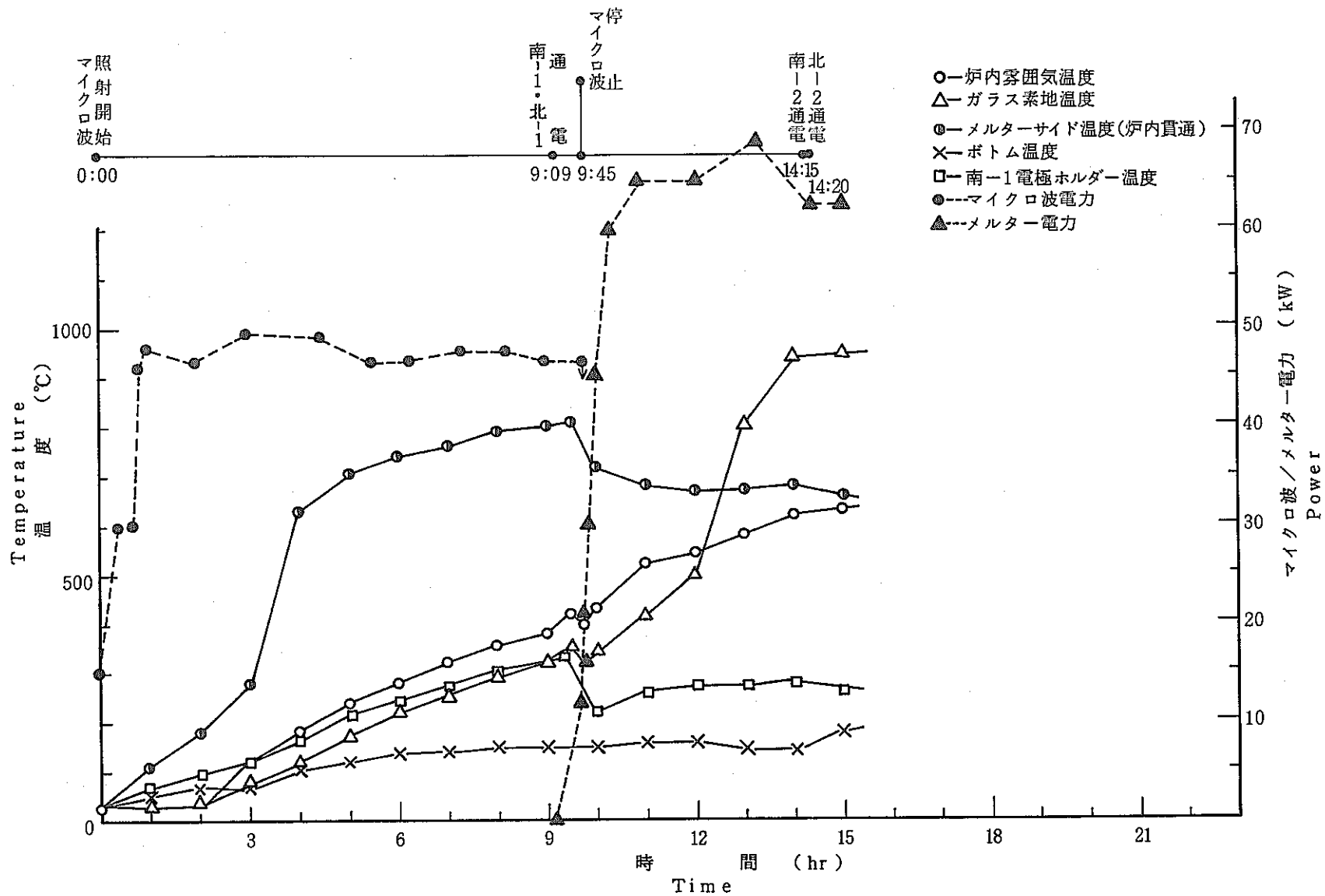


図-13 第8回マイクロ波熱上げ経過
 8th Microwave Heating-up

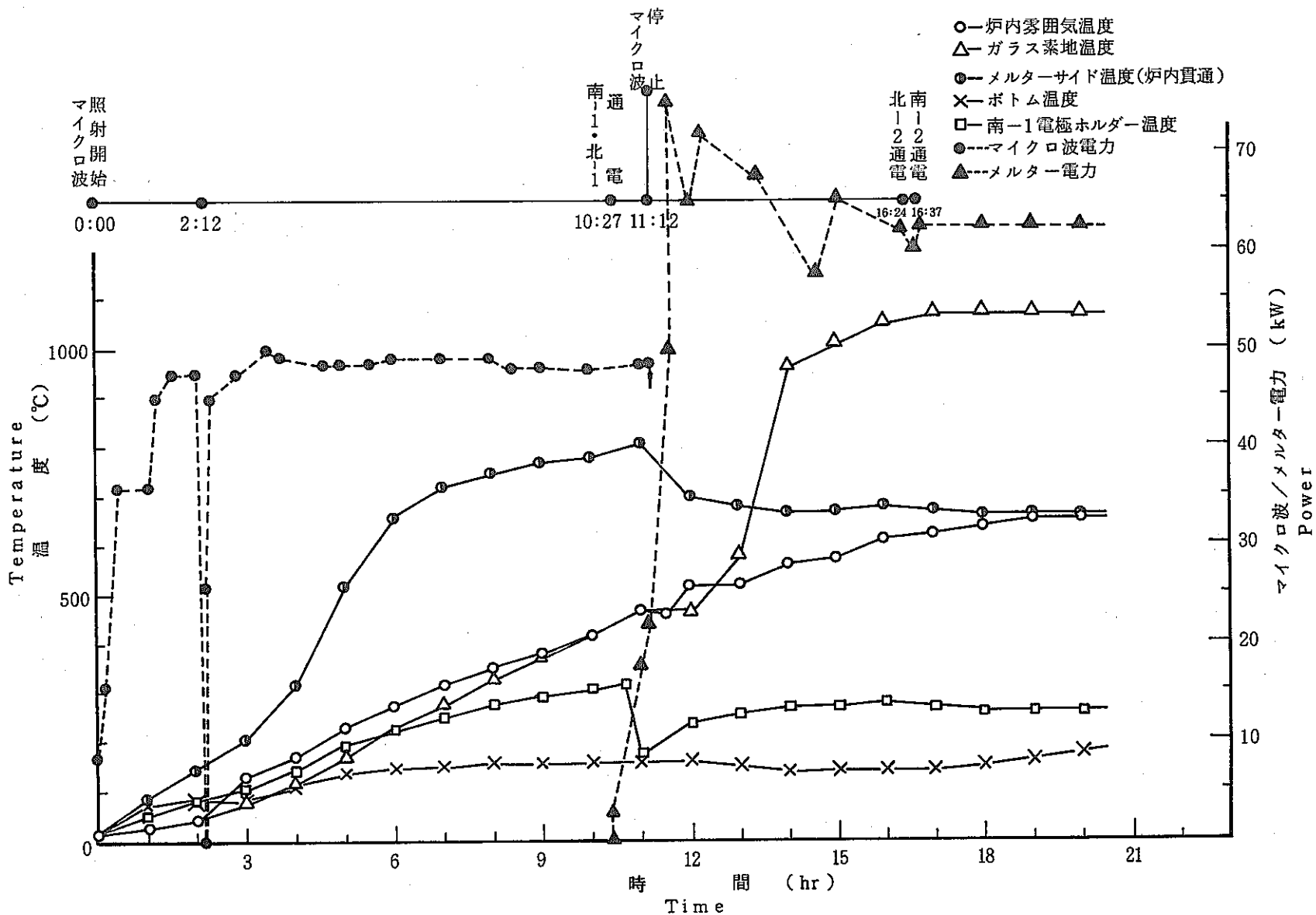


図-14 第9回マイクロ波熱上げ経過
 9th Microwave Heating-up

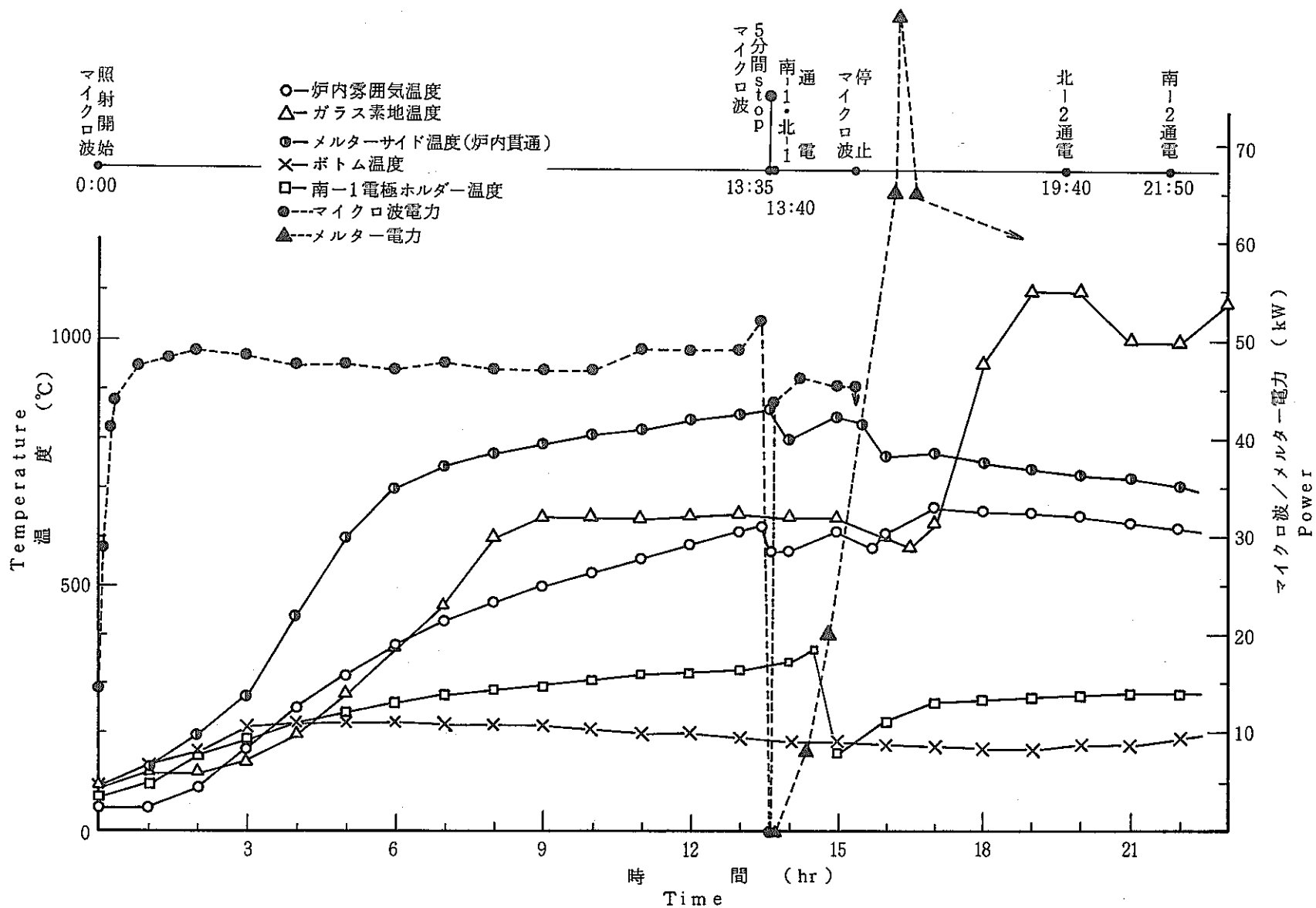


図-15 第10回マイクロ波熱上げ経過
10th Microwave Heating-up

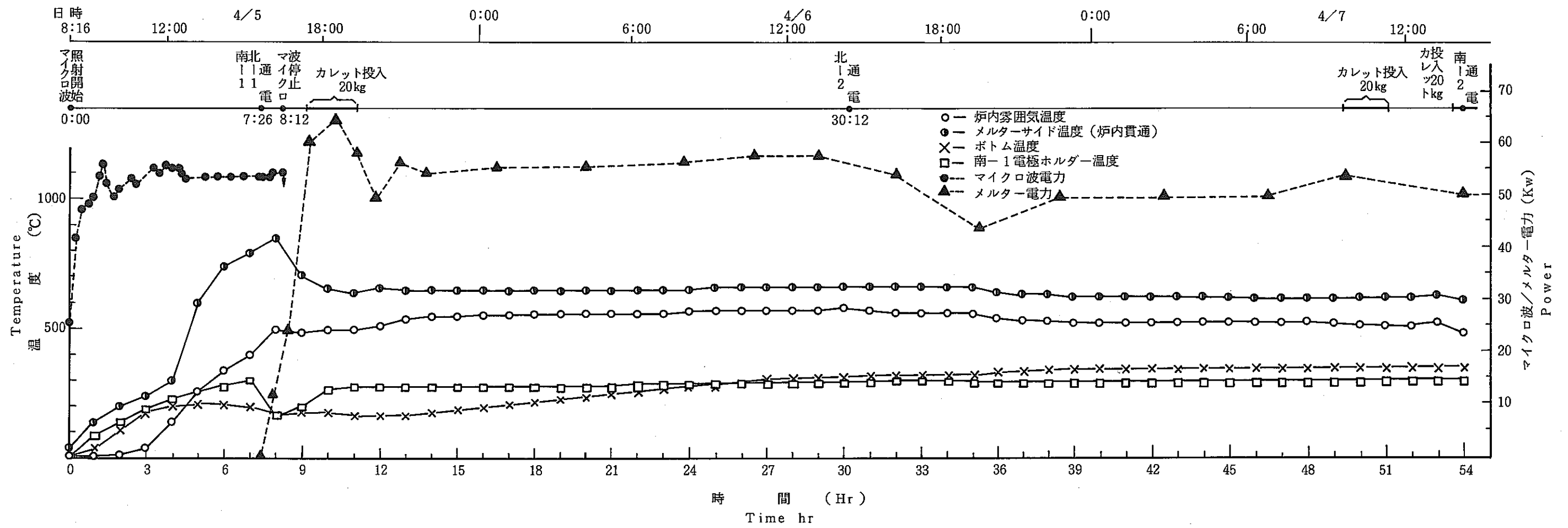


図-16 第11回マイクロ波熱上げ経過
11th Microwave Heating-up

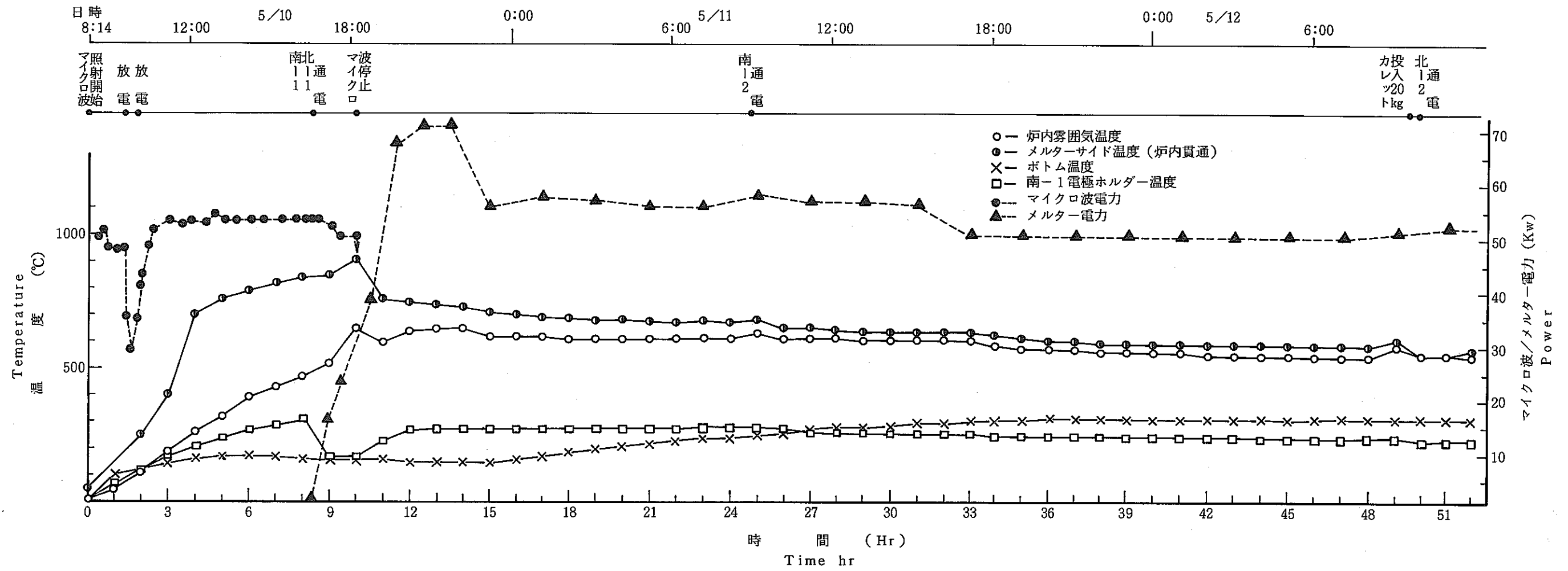


図-17 第12回マイクロ波熱上げ経過
12th Microwave Heating-up

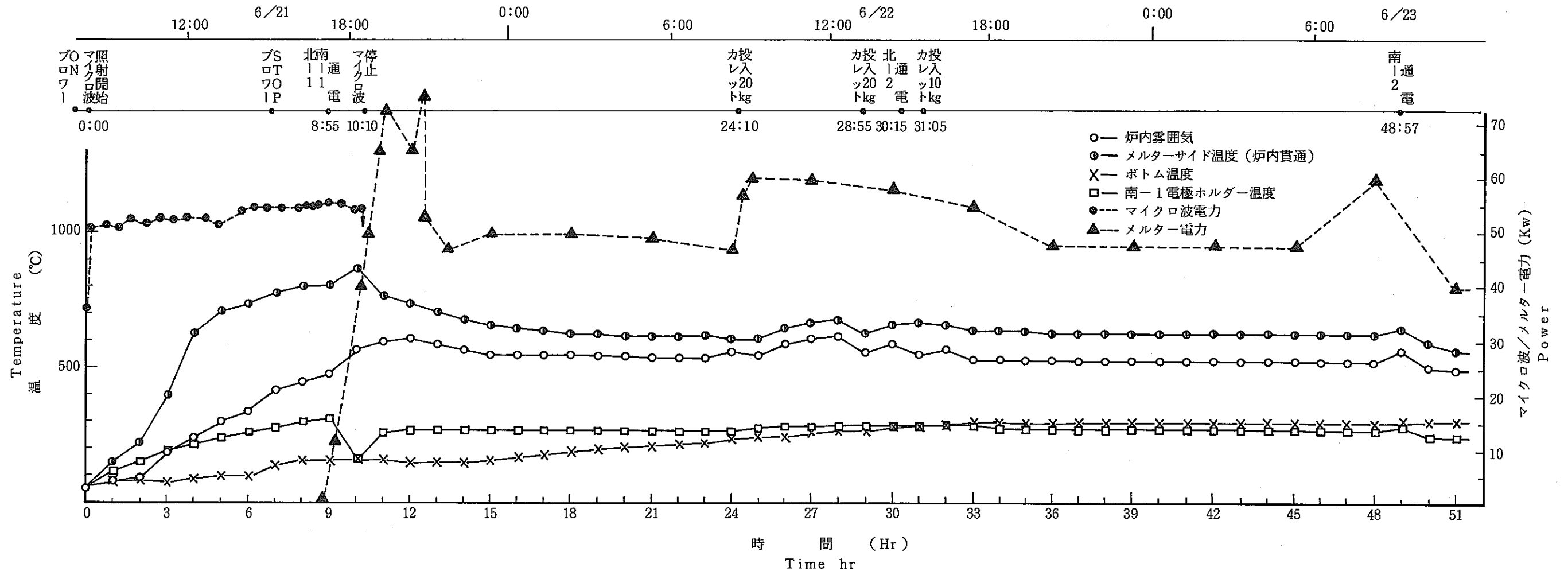


図-18 第13回マイクロ波熱上げ経過
13th Microwave Heating-up

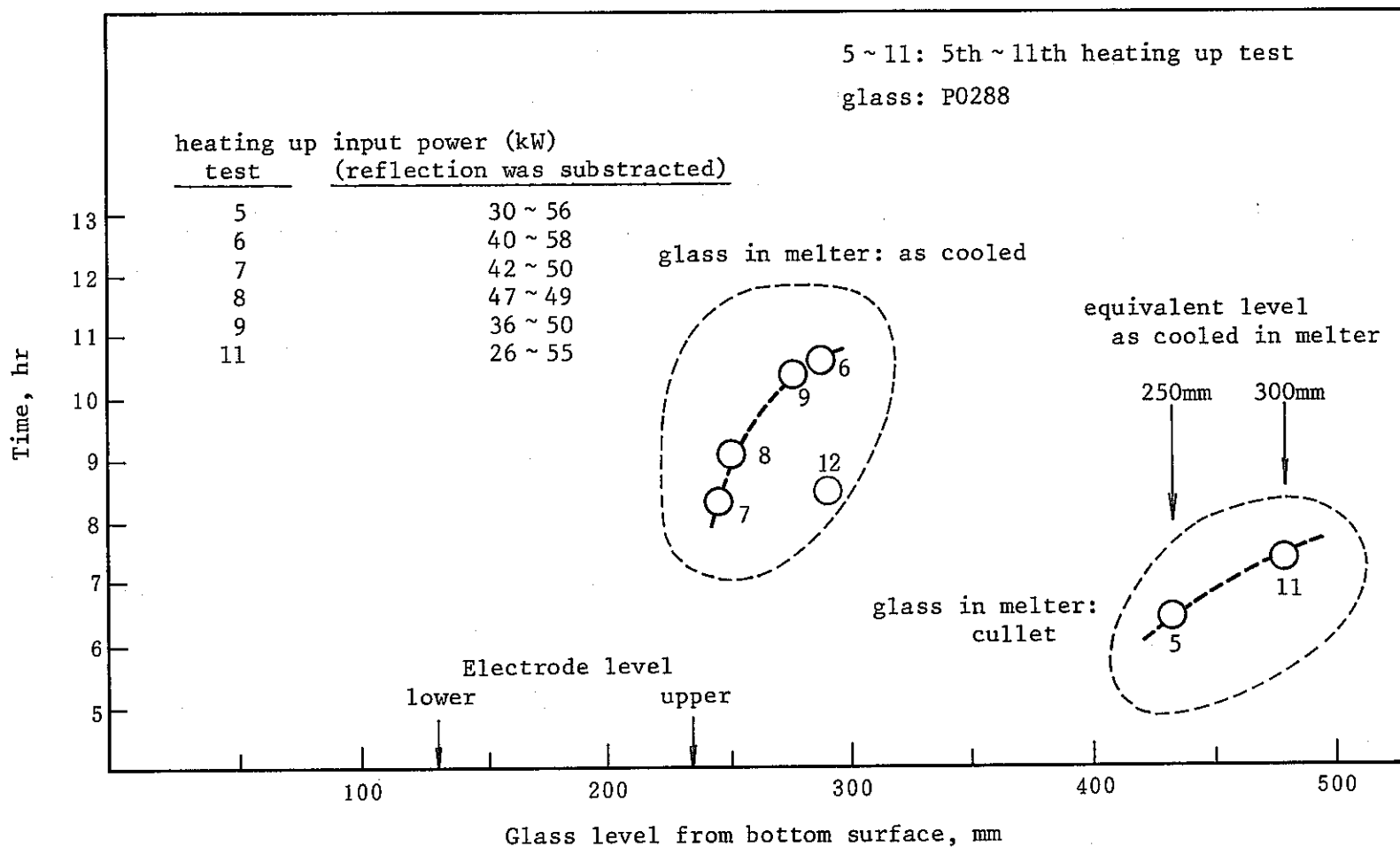


図-19 炉内ガラスレベルと片側通電迄の熱上げ所要時間との関係
Effect of Glass Level on Heating-up Time up to
Joule Heating

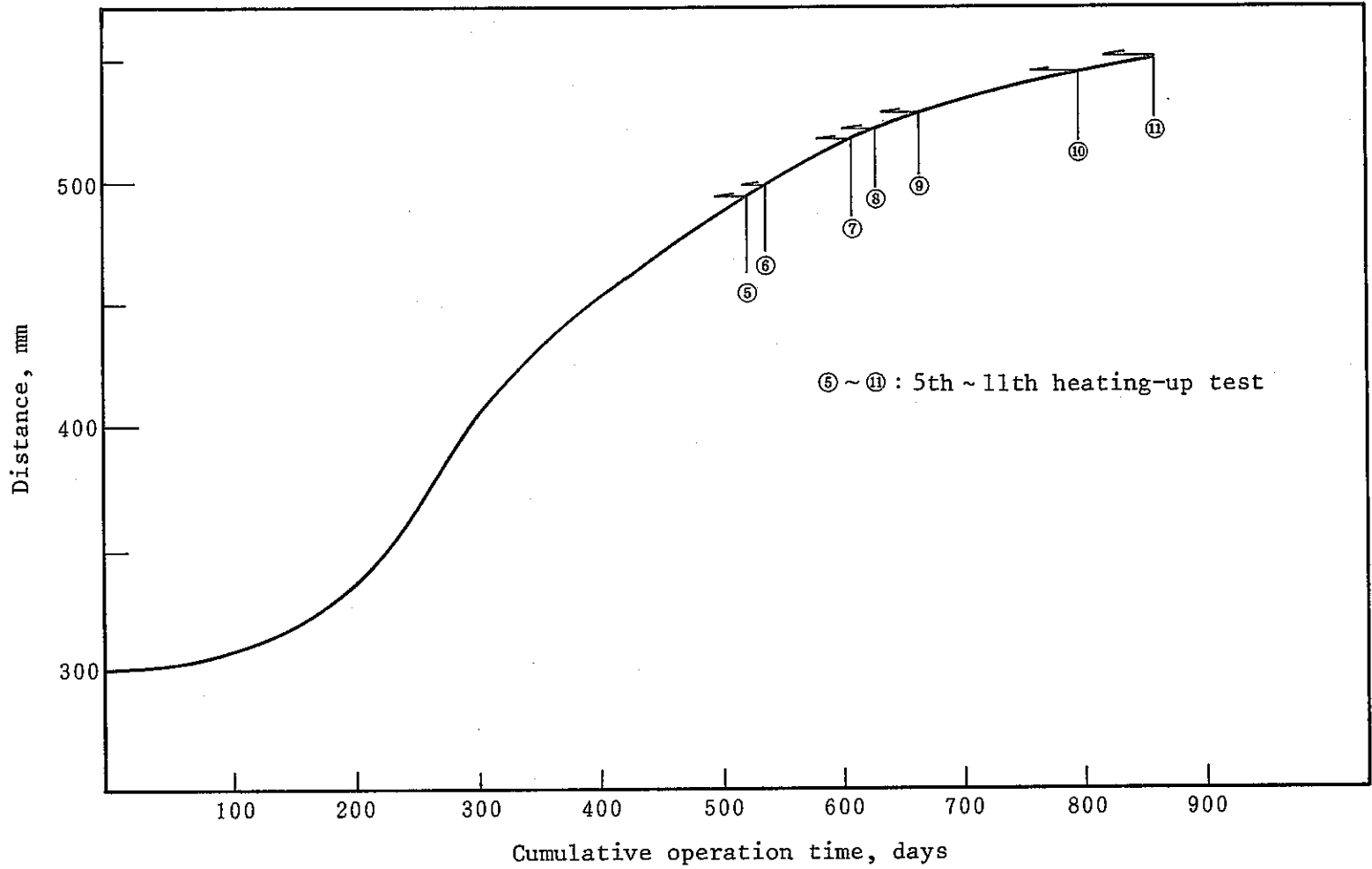


図-20 メルター運転時間と主電極間距離との関係 (北-1 ↔ 南-1)
 Distance between Electrodes with Cumulative Operation Time

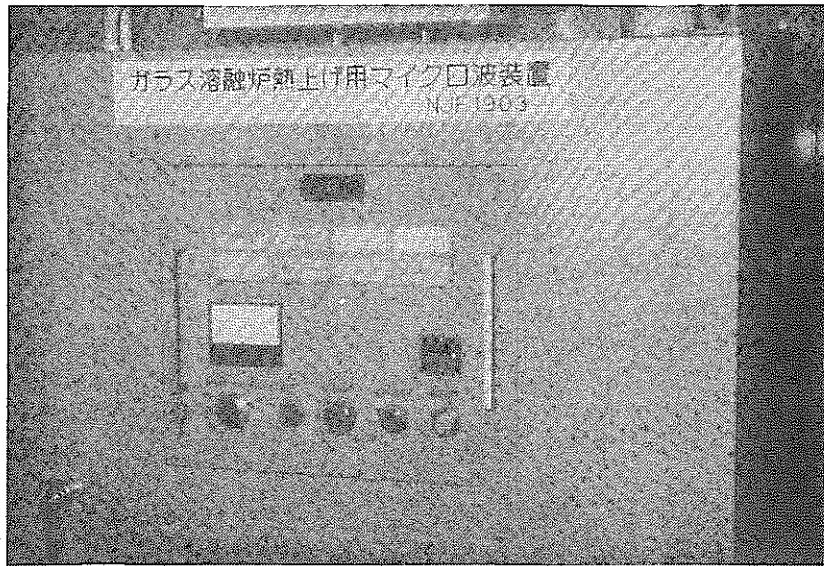


写真-1 マイクロ波発振装置
Microwave Generator

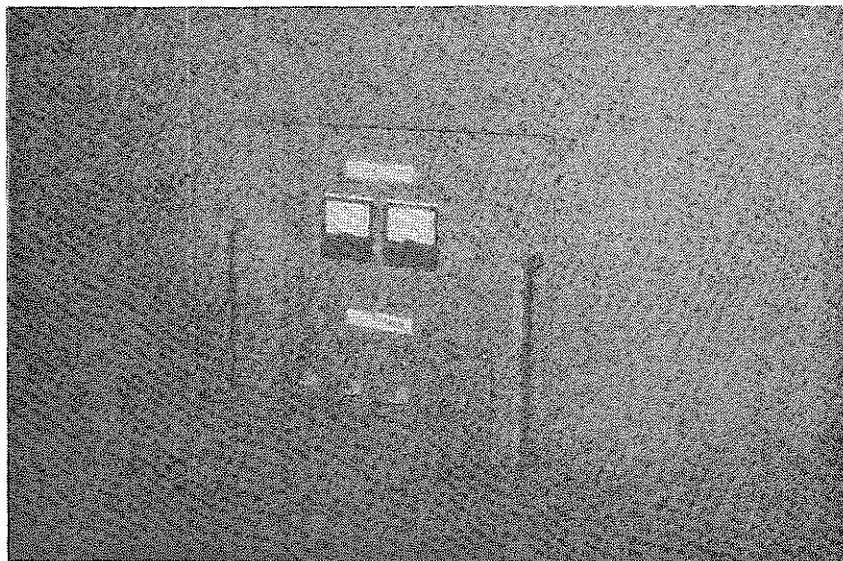


写真-2 パワーモニター
Power Monitor

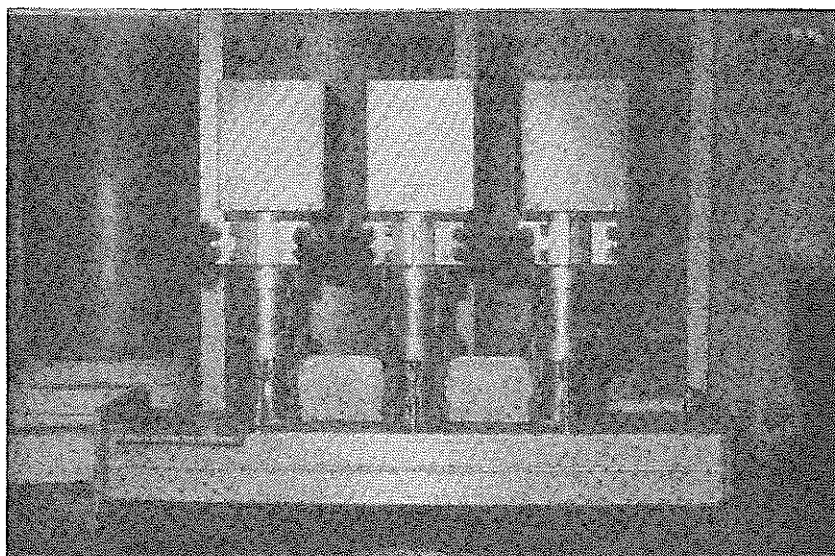


写真-3 スリースタブ（自動制御型）
Three Stub (automatic control type)

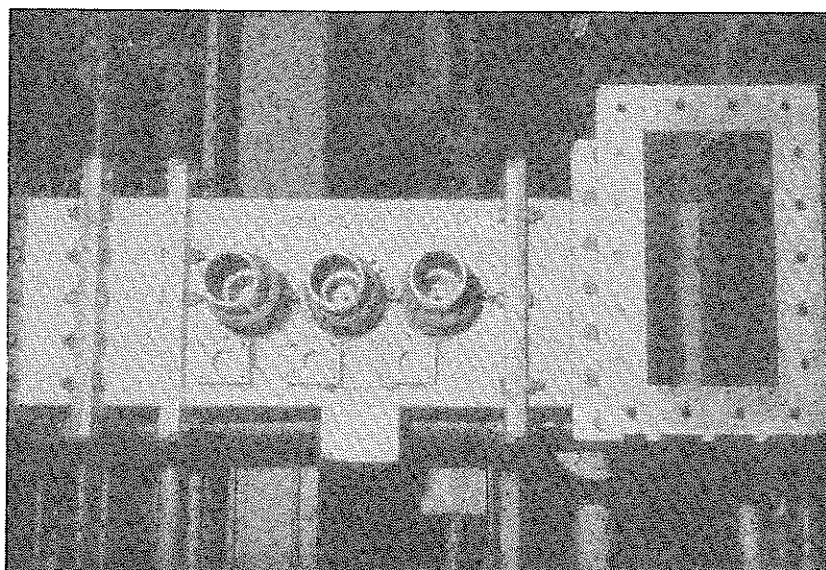


写真-4 スリースタブ（手動制御型）
Three Stub (manual control type)



写真-5 導波管
Wave Guide

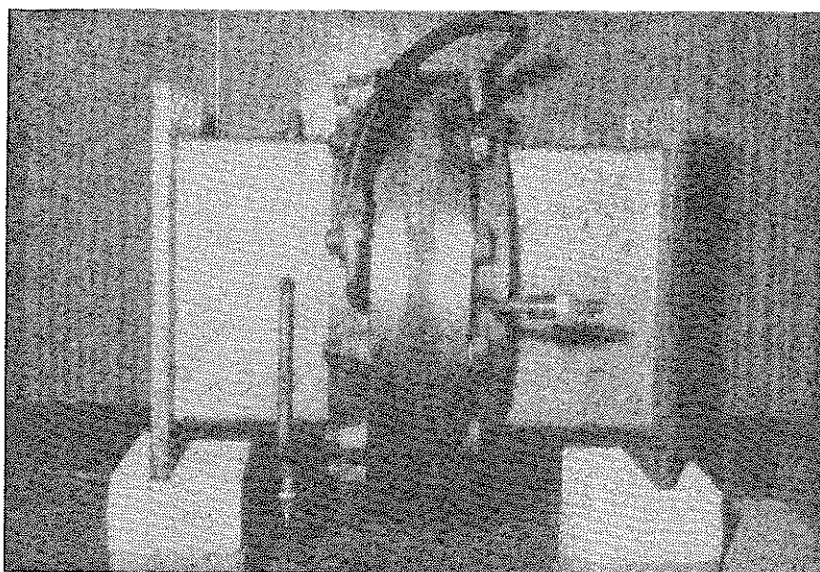


写真-6 仕切窓
Isolation Window

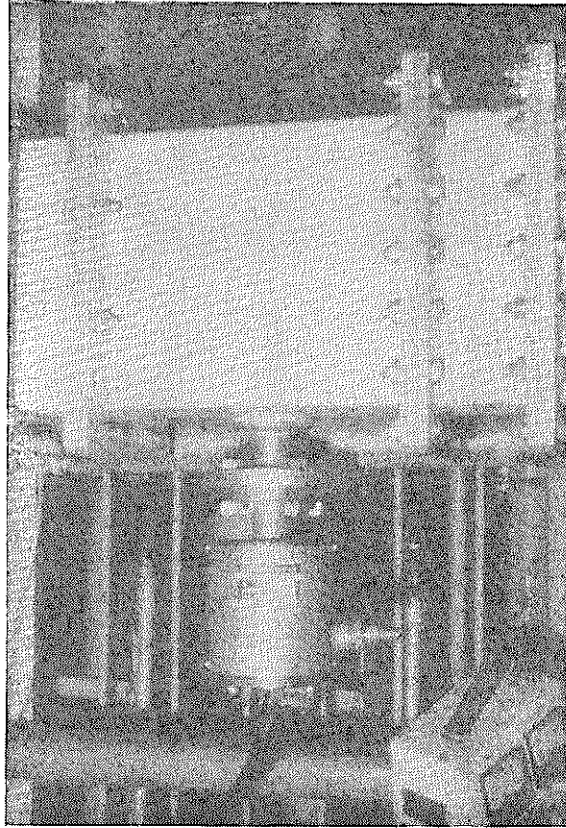


写真-7 放電検出器
Discharge Detector

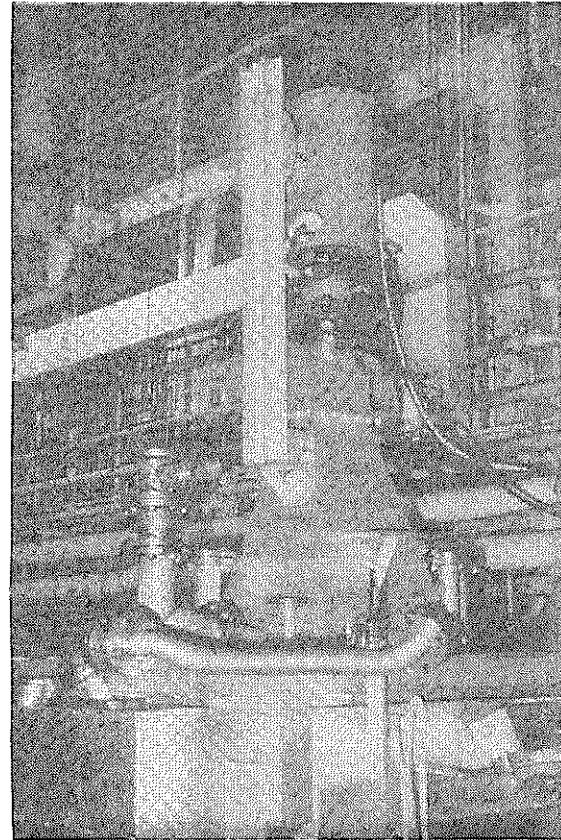


写真-8 電磁ホーン（熱上げ予備試験）
Electromagnetic Horn (Preliminary
Heating-up Test)

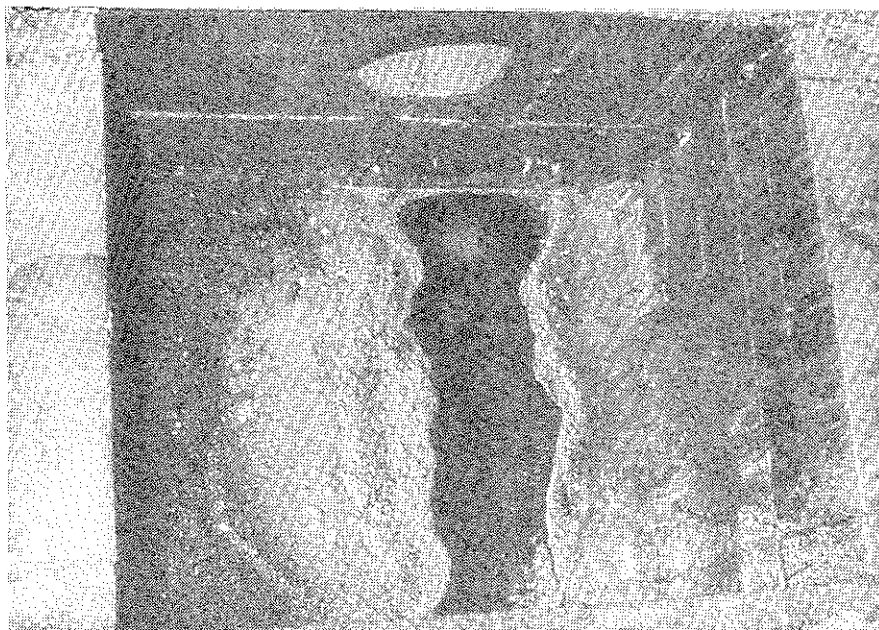


写真-9 第3回熱上げ片測通電時の炉内状況
Melt Surface at Joule Heating between One-pair
Electrode (3rd Heating-up)

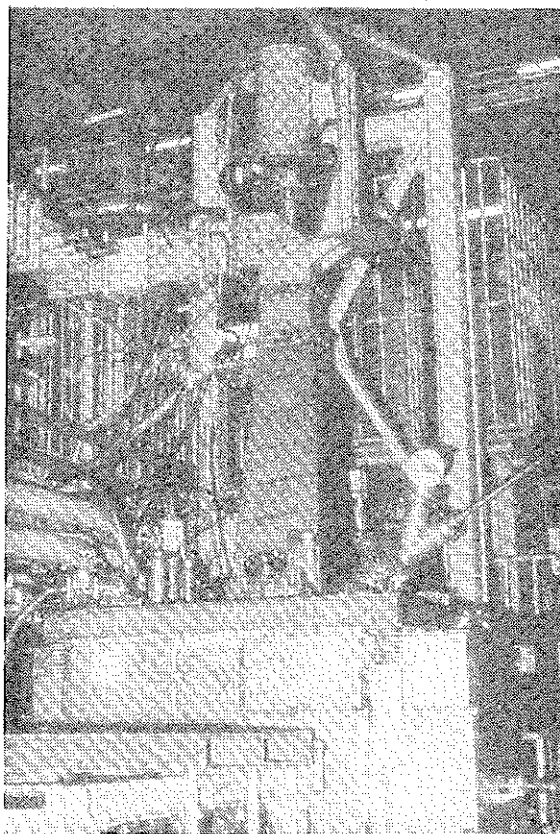


写真-10 第5回～熱上げ装置
Joule Heated Ceramic Melter with Microwave Heating
Heating (from 5th test)