

# YAGレーザーによるセンサ追従切断試験 (ハル缶切断スタンドオフ制御機構の確証)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1996年3月

富士電機株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1996年 3月

# YAGレーザーによるセンサ追従切断試験

(ハル缶切断スタンドオフ制御機構の確証)

藤沢盛夫\*，細田 博\*，岩崎唯信\*\*，  
仲村敬二郎\*\*，葛西 彪\*\*，沼田 忍\*\*

## 要 旨

本報告書は，ハル等廃棄物処理技術開発施設（以下「HWTF」という）において発生する余剰ハル缶を減容するために有効と考えられる YAGレーザー切断において，スタンドオフ制御を適用した追従切断技術に関して検証した結果をまとめたものである。

試験装置には，前年度実施したものと同様の，1kW級のスラブ型 YAGレーザー装置と多軸ロボットとを使用した。

ロボットに把持された加工用トーチには，スタンドオフを一定に保つことができる機能を付加した。加工用トーチとワークとの距離をセンシングする方法として，数種類のセンサの中から，静電容量式センサを選択した。

模擬試験体として，平板でのセンシング機能を確認した後，湾曲や段差について検証した結果，センシング部の改良によって機能を拡張できることがわかった。その結果，ハル缶の切断線において最大の問題となる蓋部の段差 4mmを追従できることを検証できた。

追従確認試験の結果を踏まえ，実際に追従切断試験をおこなった。遠隔自動切断において困難と思われる実ハル缶の蓋部の切断をおこない，センシングによる切断が可能なことを検証できた。また，大きな湾曲を与えた試験体に対しても検証した。

以上を基に，今後の課題と共に，実施設の構成についても提案した。

---

本報告書は，富士電機株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：07-C-8150

事業団担当部課室：環境施設部 倉形光一郎

\* 富士電機株式会社 電力事業本部 原子力事業部 技術部

\*\* 株式会社富士電機総合研究所 応用装置研究所

March, 1996

Sensing and controlled cutting test by Nd:YAG Laser  
( experimental verification of controlled stand-off to cut hull-cans )

Fujisawa Morio \*, Hosoda Hiroshi\*,  
Nakamura Keijirou\*\* , Kasai Takeshi\*\*  
Iwasaki Tadanobu \*\* and Numata Sinobu\*

A b s t r a c t

This report describes the experimental results about the cutting technology by use of the torch with sensing and controlling stand-off in laser cutting process, in order to reduce the volume of surplus hull-cans which occur in the hull waste treatment facility (HWTF).

The cutting system mainly constructs of the same slab-type Nd:YAG laser oscillator with an average power of 1kW and the multi-axis robot as the system used in the cutting test last year.

The equipment which can keep stand-off constant by height-sensing and controlling mechanics was added to the torch handled by the robot. A capacitive measuring sensor was selected from several kinds of height-measuring sensors.

Sensing and controlling mechanism was verified to bended stainless steel samples and other samples with step 4mm by use of the improved torch tip.

This torch was applied to actual cutting test. It was clarified that the cover of the hull-can which be very difficultly cut could be cut.

It is proposed that the Nd:YAG laser system is available to HWTF.

- 
- This work was performed under the contract between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation(PNC) and Fuji Electric Co., Ltd.
  - Contract Number : 0 7 - C - 8 1 5 0
  - PNC Liaison : Waste Plants Operation Division      Kurakata Kouitirou
  - \* Fuji Electric Co.,Ltd., Nuclear Power Division, Plant Engineering Depart.
  - \*\* Fuji Electric Corporate R.& D., Ltd, Products Development Laboratory.

# 目 次

1. はじめに	1
2. 目的・概要	2
3. 実施項目	4
3.1 変形模擬試験体の製作	4
3.2 センシングシステムの確証試験	4
3.3 自動切断システムの具体化	4
3.4 実施工程	6
4. 試験装置	7
5. 実施結果	11
5.1 模擬試験体の製作	11
5.1.1 段差模擬試験体	12
5.1.2 傾斜模擬試験体	13
5.1.3 湾曲模擬試験体	13
5.1.4 脚受け板模擬試験体	14
5.1.5 底板模擬試験体	15
5.1.6 蓋補強部模擬試験体	16
5.1.7 締め付けリング模擬試験体	17
5.2 センシングシステムの確証試験	18
5.2.1 センサの選択	18
(1) センサの机上検討	18
(2) センサの選択試験	21
5.2.2 スタンドオフ制御性の確認	26
(1) 基本特性の確認	29
(2) 模擬試験体および実ハル缶の制御性の確認	49

5.3 切断状況の確認	79
5.3.1 模擬試験体の切断	79
(1) 段差模擬試験体の切断	79
(2) 湾曲模擬試験体の切断	80
(3) 蓋補強部模擬試験体の切断	81
(4) 蓋模擬試験体の切断	82
(5) 脚受け板模擬試験体の切断	84
5.3.2 実ハル缶の切断	85
(1) 蓋補強部の切断	85
(2) 締め付けリングの切断	85
(3) 蓋の切断	86
5.4 自動切断システムの具体化	90
5.4.1 自動切断範囲の検討	90
(1) 検討の前提条件	90
(2) 検討内容	90
5.4.2 一部自動化システムの具体化検討	91
(1) 平成6年度検討した切断手順の見直し	91
(2) 見直し切断手順	91
(3) 機器構成	91
(4) 機器の概要	104
5.4.3 一部自動化システムの設備費	109
5.4.4 一部自動化システムのランニングコスト	110
6. まとめ, 結論	112
7. 今後の課題	113
添付資料 ① 静電容量式センサのカタログ	
② 切断時の温度測定結果について	

## 表 リ ス ト

表-3.1	実施工程表	6
表-4.1	レーザ発振装置仕様	7
表-4.2	多軸ロボット仕様	8
表-5.1	ハル缶のセンシング課題部位	11
表-5.2	模擬試験体の種類	11
表-5.3	センサ比較表	19
表-5.4	センサ机上検討結果	20
表-5.5	レーザ変位計の距離測定試験結果	22
表-5.6	静電容量式ハイトセンサの距離測定試験	25
表-5.7	ハイトセンサシステム仕様	28
表-5.8	標準品の追従性試験結果	30
表-5.9	電極タイプ#1の追従性試験結果1	32
表-5.10	電極タイプ#1の追従性試験結果2	33
表-5.11	電極タイプ#2の追従性試験結果	34
表-5.12	制御試験条件	40
表-5.13	湾曲模擬試験体の追従試験結果	50
表-5.14	脚受け板模擬試験体の追従試験結果	51
表-5.15	底板模擬試験体の追従試験結果	55
表-5.16	段差模擬試験体の切断可能速度	79
表-5.17	位置変位試験の切断可能範囲	82
表-5.18	蓋模擬試験体の切断可能な残渣高さ	83
表-5.19	脚受け板模擬試験体の切断可能速度	84
表-5.20	自動化システム概念の比較	92
表-5.21	平成6年度切断手順フローへの自動化適用検討	94
表-5.22	ハル缶切断の想定作業時間	101
表-5.23	電気およびアシストガス等の使用量	111

## 図 リ ス ト

図-3.1	実ハル缶切断箇所と手順 .....	5
図-4.1	ハル缶切断装置構成図 .....	9
図-5.1	段差模擬試験体製作図 .....	12
図-5.2	湾曲模擬試験体製作図 .....	13
図-5.3	脚受け板模擬試験体製作図 .....	14
図-5.4	底板端部模擬試験体製作図 .....	15
図-5.5	蓋補強部模擬試験体製作図 .....	16
図-5.6	締め付けリング模擬試験体製作図 .....	17
図-5.7	静電容量式センシングシステム構成図 .....	26
図-5.8	センサ電極露出量 .....	31
図-5.9	段差高さと追従速度の関係 .....	36
図-5.10	段差のセンシングデータ .....	37
図-5.11	傾斜試験構成図 .....	39
図-5.12	傾斜角度とクリアランスの関係（電極タイプ#0） .....	41
図-5.13	傾斜角度とクリアランスの関係（電極タイプ#1） .....	42
図-5.14	傾斜角度とクリアランスの関係（電極タイプ#2） .....	43
図-5.15	電極露出量とクリアランスの関係 .....	44
図-5.16	傾斜角度と追従速度の関係 .....	45
図-5.17	ワークの端部におけるトーチの動き .....	46
図-5.18	端部検出回路構成図 .....	48
図-5.19	トーチの移動方向（湾曲模擬試験体） .....	49
図-5.20	トーチの移動方向（脚受け板模擬試験体） .....	50
図-5.21	脚受け板模擬試験体センシングデータ .....	52
図-5.22	トーチの移動方向（底板模擬試験体） .....	53
図-5.23	底板模擬試験体センシングデータ .....	54
図-5.24	トーチと補強部の位置関係 .....	56



図-5.25	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 0mm）	58
図-5.26	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 -5mm）	59
図-5.27	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 -4mm）	60
図-5.28	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 -3mm）	61
図-5.29	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 -2mm）	62
図-5.30	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 -1mm）	63
図-5.31	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 +1mm）	64
図-5.32	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 +2mm）	65
図-5.33	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 +3mm）	66
図-5.34	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 +4mm）	67
図-5.35	センサ先端と補強部との位置関係（水平方向移動量 +5mm）	68
図-5.36	角度変位試験構成図	69
図-5.37	角度変位ワークのセンシングデータ（+10°）	71
図-5.38	角度変位ワークのセンシングデータ（+5°）	72
図-5.39	センサ先端と補強部との位置関係	73
図-5.40	角度変位ワークのセンシングデータ（-10°）	74
図-5.41	角度変位ワークのセンシングデータ（-5°）	75
図-5.42	締め付けリング模擬試験体のセンシングデータ	77
図-5.43	締め付けリングのセンシングの様子	78
図-5.44	蓋模擬試験体の切断方向	83
図-5.45	ハル缶切断手順フロー図（平成6年度検討結果）	93
図-5.46	ハル缶切断手順の見直しフロー図	95
図-5.47	概略作業手順	98
図-5.48	ハル缶切断タイムチャート（2缶/日処理ベース）	103
図-5.49	切断物保持クレーンおよび切断テーブルの概略構造図	105
図-5.50	概略機器配置図	106
図-5.51	ヒューム回収装置の概略構造図	108

## 写 真 リ ス ト

写真-4.1	1kW レーザ発振装置 .....	10
写真-4.2	多軸ロボット .....	10
写真-5.1	静電容量式センサ .....	27
写真-5.2	蓋補強部の切断状況 .....	88
写真-5.3	噴出したドロスの付着状況 .....	89

## 1. はじめに

現在、設計が進められているHWTFにおいて、余剰ハル缶の切断・減容技術として、光ファイバを用いたフレキシブル伝送による遠隔操作対応が可能な YAGレーザが有効と考られている。

本報告書は、平成6年度実施されたYAG レーザによるハル缶の切断試験、およびHWTFへの適用性の調査試験<sup>1)</sup>において明らかにされた課題の内から、スタンドオフ制御性を抽出し、トーチとワークとの距離をセンシング・制御することによってスタンドオフを一定に保ちつつ切断の検証をおこなった結果を報告するものである。

実際のワークに対して追従性と共に切断への影響についても検証をし、切断できることを確認した。

さらに、試験結果に基づく装置概念検討、実施設実現への課題についての検討結果も報告する。

## 2. 目的・概要

本試験は、切断・減容するためのYAG レーザを用いたハル缶の切断において、スタンドオフを一定に保ち、切断を遠隔、かつ自動でおこなうためのデータの取得と検証、および施設設計用のデータの取得を目的とする。

YAG レーザは、装置が小さく、操作性・保守性に優れており、エネルギー密度が高く光ファイバによるフレキシブルな伝送システムを構築することができるため、遠隔操作性に優れている。このため、YAG レーザは、特に高放射線雰囲気セル内での切断作業（解体作業）に適しており、集光部に小型トーチを取り付けることで、狭窄部の切断作業も可能である。この観点に立ち、平成6年度<sup>1)</sup>は、①模擬試験体による最適切断条件調査試験、②実ハル缶切断確証試験（切断片2缶分のハル缶収納確認）、③遠隔切断確証試験をおこない、ハル缶切断手段としての有効性を確認し、今後の装置設計のための解決すべき課題についても明らかにした。その中で、自動切断の重要課題となるスタンドオフの制御性が挙げられている。自動切断の要素技術の確証は、装置の具体的システムを構築していく上で不可欠な要因であり、課題の中でも最重要な課題と考えられる。

本年度は実際の装置への適用を前提とした遠隔、かつ自動切断の要素技術として、スタンドオフを一定に保ちつつ切断できる可能性を調査した。

本試験においては、平成6年度と同じ1kW級スラブYAGレーザ<sup>1)</sup>を使用し、次の段階を踏んでおこなった；①センシング法の選択、②追従性の検証、③追従切断の検証、④切断システム構想、⑤課題の抽出。

得られた結果の概要を以下に示す。

### ① センシング法の選択

数種類の距離変位測定可能なセンサの中から、トーチに取り付けられる大きさで、かつ測定範囲が満足できるものとして、レーザ変位計と静電容量式変位計とを選択した。

レーザ変位計はSUSのワークに対し、測定誤差の大きな、あるいは測定不可能な角度があることがわかったため、静電容量式変位計を使用することにした。

### ② 追従性の検証

ハル缶切断で困難と予想される段差、垂直ではないレーザ照射角度および湾曲箇所での検証をするために、模擬試験体を製作した。模擬試験体での試験の結果、トーチ先端のセンサ部の改良により、すべての模擬試験体に対し追従可能なことを検証した。

### ③ 追従切断の検証

追従性で確認できた装置を模擬試験体および実ハル缶の切断試験に適用した。上記の各種形態に対し、切断できることを検証した。

### ④ 切断システム構想

トーチの自動センシング機能を考慮し、切断システム全体の構想概念図を明らかにした。

### ⑤ 課題の抽出

センシング制御をしていく上で、切断開始端部における不安定な動作、およびレーザー照射側へのドロスの噴出による不安定な動作が生じることがわかった。

### 3. 実施項目

本報告書で記述する試験項目は、以下の通りである。

#### 3.1 変形模擬試験体の製作

製作する変形模擬試験体は、センシングシステムの基本特性を測定するための模擬試験体、およびセンシングシステムでハル缶切断をするときに課題となる部位を模擬した変形模擬試験体を製作した。

ハル缶切断箇所は、平成6年度の試験<sup>1)</sup>と同一とする。平成6年度におこなった試験のハル缶切断箇所と手順<sup>1)</sup>を図-3.1に示す。

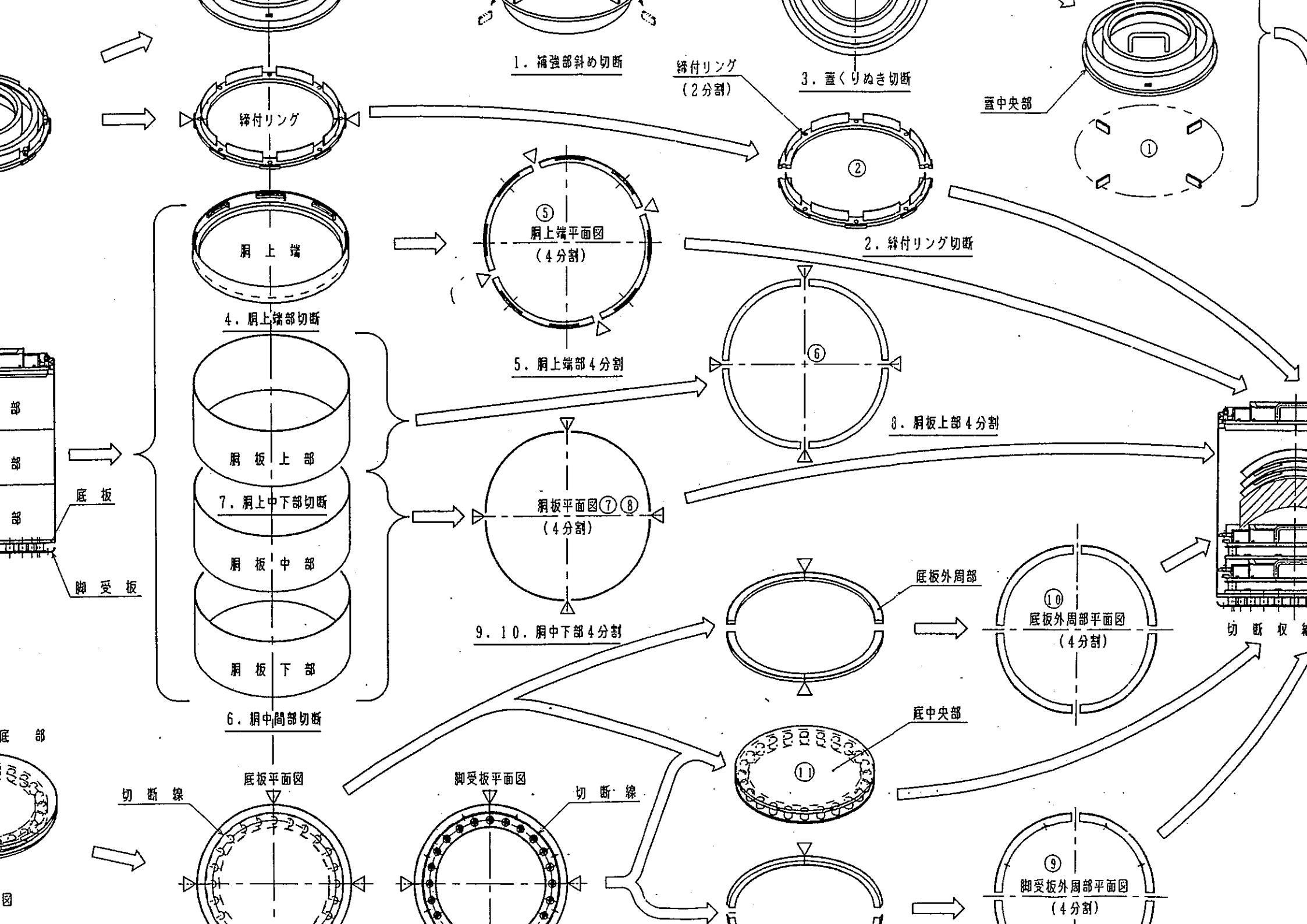
#### 3.2 センシングシステムの確証試験

レーザトーチとワーク間の距離をセンシングし、スタンドオフを一定に保つように動作する機能を有するセンシングシステムを机上および評価試験によって選定した。

選定したセンシングシステムは、ロボットに把持させ変形模擬試験体、および実ハル缶に対する追従性・制御性を試験し、実ハル缶切断での適用性を評価した。その結果から得られたセンシングシステムの条件を基に実際に変形模擬試験体、および実ハル缶の切断追従試験をおこなった。実ハル缶の試験では、複雑な形状のある蓋部について試験をおこなった。切断試験条件は平成6年度におこなったハル缶切断実験の条件とした。

#### 3.3 自動切断システムの具体化

3.2項でのセンシングシステム確証結果から、これを用いた場合の自動化切断システムの具体的な概念について検討した。検討にあたっては、平成6年度に検討した切断手順をベースにして、この手順で自動化システムを適応した場合の問題点、課題、対策等を明らかにし、それらを反映した切断手順の見直しをおこなった。自動化の範囲については、全自動化方式と一部自動化方式の2方式の検討から明らかにした。また、今回の検討結果のシステム機器の概略構造も同時に明らかにし、設備コストの概算値を試算した。



### 3.4 実施工程

表-3.1 の工程で試験, 評価を実施した。

表-3.1 実施工程表

年 月 項 目	平成 7 年		平成 8 年		
	11月	12月	1月	2月	3月
1. 変形模擬試験体の製作 湾曲及び立体	▽	▽			
2. センシングシステムの 確証試験					
① センサの選定	▽	▽			
② スタンド制御性 確認試験	▽			▽	
③ 自動切断システム の具体化			▽		▽
3. 報告書の作成			▽		▽



#### 4. 試験装置

本試験において使用する試験装置は、1kW YAG レーザ発振装置、多軸ロボット、アシストガス供給装置で構成されている。これらの試験装置<sup>1)</sup>は、平成6年度におこなった試験に使用したものと同一である。

試験装置の全体構成を図-4.1 に、YAG レーザ発振装置の仕様を表-4.1 に、外観写真を写真-4.1 に示す。また、多軸ロボットの仕様を表-4.2 に、外観写真を写真-4.2 に示す。

表-4.1 レーザ発振装置仕様

項目	仕様
名称	スラブ型Nd:YAGレーザ
発振波長	1.06 $\mu$ m
モード	マルチモード
平均出力	最大 1kW
光ファイバ	$\phi$ 0.8 SI型
ピークパワー	最大24kW
パルス幅	0.6~2ms
繰り返し数	単発~200pps

表-4.2 多軸ロボット仕様

項目	仕様
機種名	RAL10-II (コマツ製)
自由度	6 軸, 関節型
駆動方式	ACサーボモータ
位置検出方式	アブソリュートエンコーダ
回転半径	最大1,635 最小520
動作範囲	1軸 ±170 ° 2軸 -80° ~ +135 ° 3軸 -65° ~ +75° 4軸 ±170 ° 5軸 ±135 ° 6軸 ±270 °
合成最大速度	5.8m/s (1~3 軸)
可搬重量	10kg
位置繰り返し精度	±0.1mm

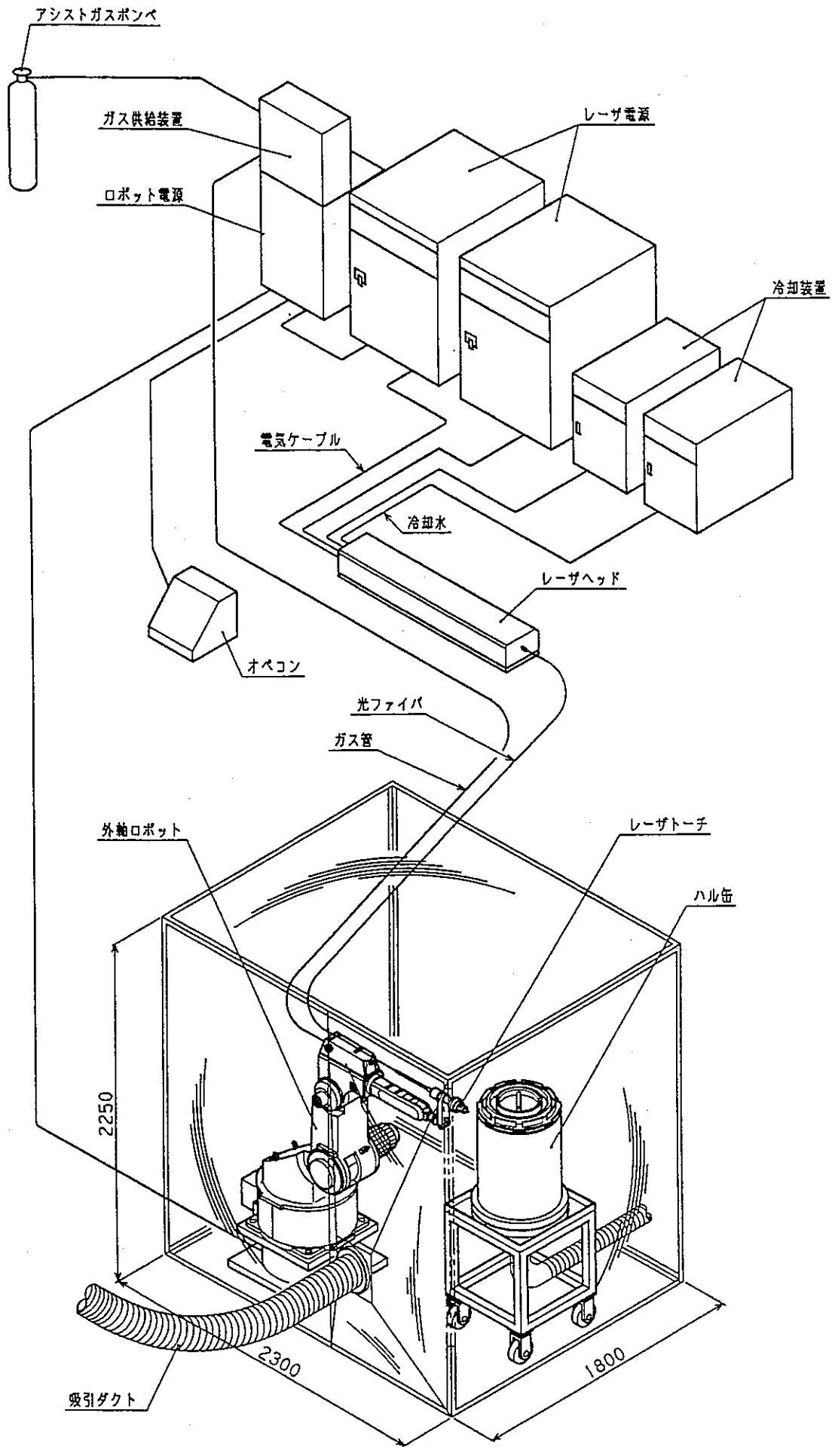


図-4.1 ハル缶切断装置構成図

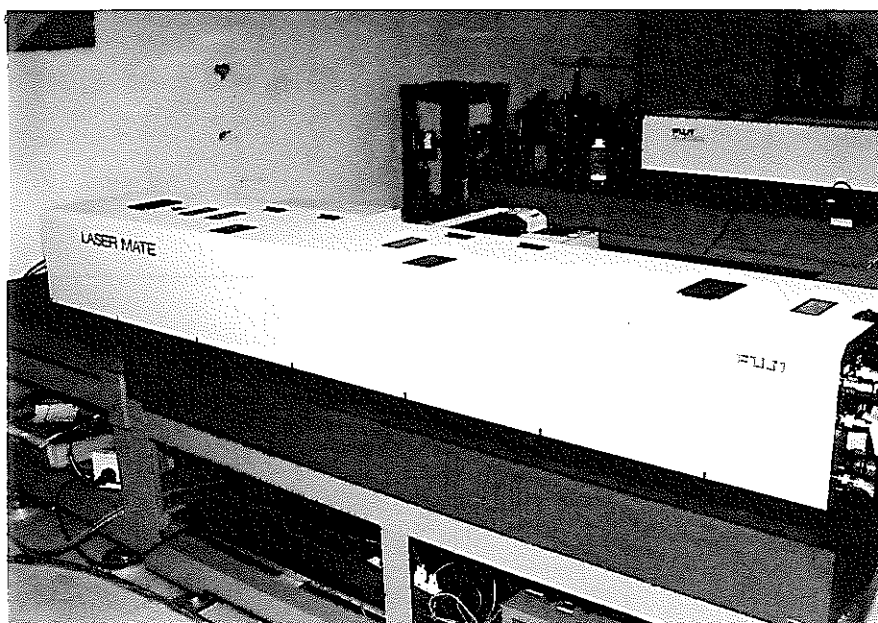


写真-4.1 1 kWレーザー発振装置

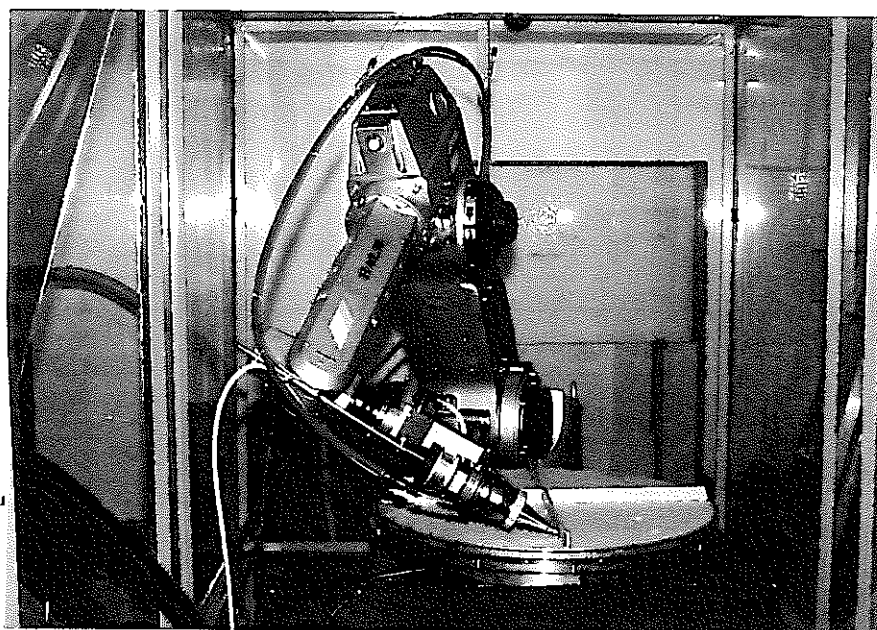


写真-4.2 多軸ロボット

## 5. 実施結果

### 5.1 模擬試験体の製作

平成6年度の報告書<sup>1)</sup>に示したハル缶切断方法から、センシングシステムを使用して切断する上で、課題と考えられる箇所を抽出した。表-5.1 にその課題内容を示す。

表-5.1 ハル缶のセンシング課題部位

部位 板厚(mm)	課題内容
蓋補強部 t6	トーチ傾斜角度30° および溶接部の追従性とスタンドオフの影響
締め付けリング t15	端部の段差4mmの追従可否。ネジ穴M20 およびトーチ傾斜角度30° での追従性
蓋 t15	締め付けリング切断時にできる蓋表面の傷およびドロスによる追従性への影響
脚受け板 t4	端部の曲面R20および水抜き穴φ10の追従性
胴体上部 t4	胴体上端部の曲面R10の追従性
底板 t15	面取り角60° の追従性

この内容に基づいた制御性を確認するために表-5.2 の模擬試験体を製作した。

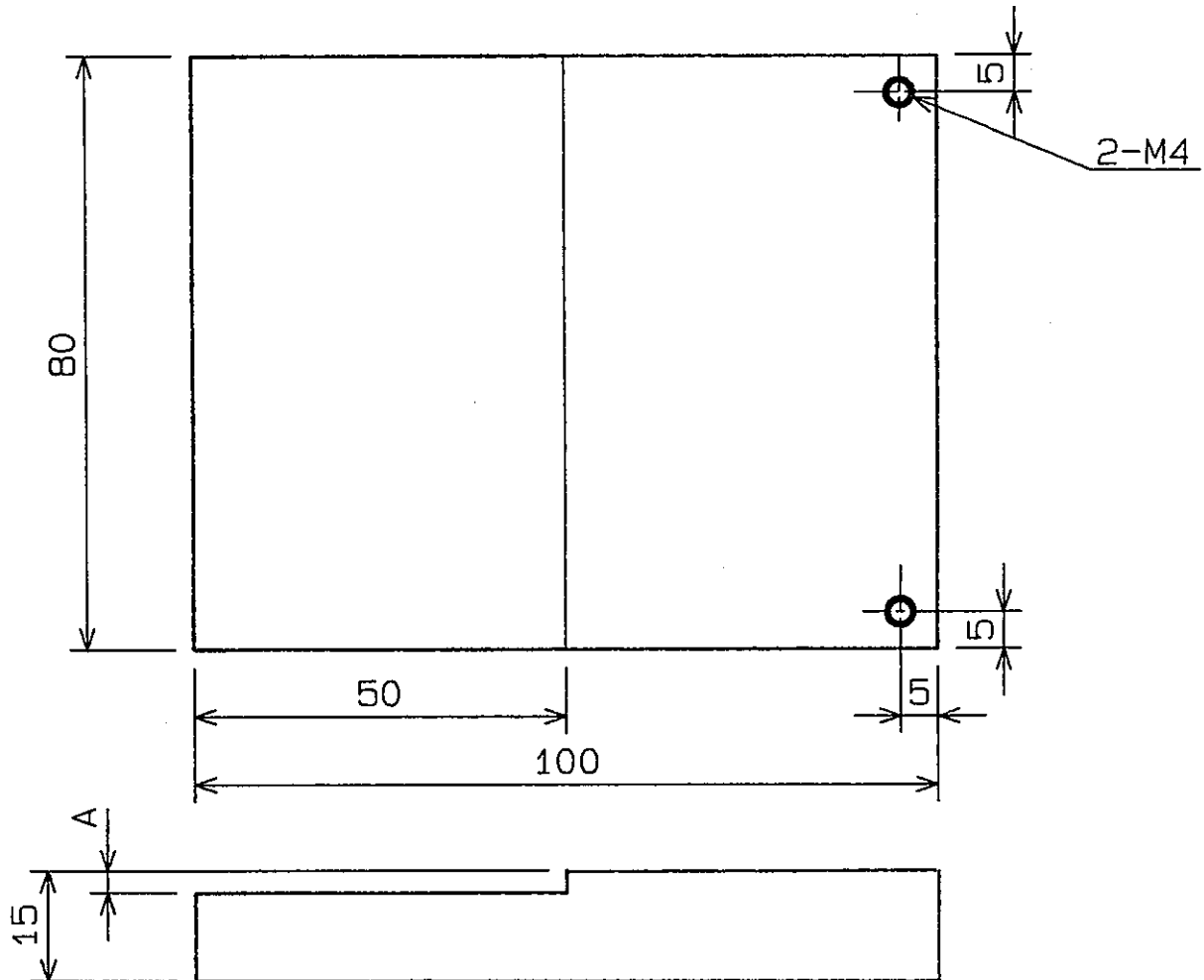
製作した模擬試験体の材質は、すべて SUS304 である。

表-5.2 模擬試験体の種類

模擬試験体	形状特徴
段差模擬試験体	段差(1, 2, 3, 4, 5mm)
傾斜模擬試験体	傾斜(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60° )
湾曲模擬試験体	曲面複合(R30, R20, R10)
脚受け板模擬試験体	曲面(R20)
底板端部模擬試験体	傾斜(60° )
蓋補強部模擬試験体	複雑形状(溶接部)
締め付けリング模擬試験体	複雑形状(段差4mmおよびネジ穴M20)

### 5.1.1 段差模擬試験体

ハル缶の締め付けリング外側に 4mmの段差がある。したがって、ハイトセンサの基本特性試験として段差の追従性試験をおこなうため、段差1mm ~5mm の段差模擬試験体を製作した。製作図を図-5.1 に示す。



部	A
P1	2
P2	3
P3	4
P4	5

図-5.1 段差模擬試験体製作図

### 5.1.2 傾斜模擬試験体

ハル缶の蓋には、補強材が溶接してある。蓋補強部を切断するときは、トーチを傾斜させなければならない。したがって、ハイトセンサの基本特性試験として、ワーク傾斜時の追従性試験をおこなうため、平板試験体をトーチに対して任意角度に傾斜させて傾斜試験体を模擬した。

### 5.1.3 湾曲模擬試験体

ハル缶の脚受け板には曲率半径R20，また胴体上部には曲率半径R10の曲面がある。したがって、ハイトセンサの基本特性試験のため、極端な湾曲を模擬し、曲面を複合させた湾曲模擬試験体を製作した。

製作図を図-5.2に示す。

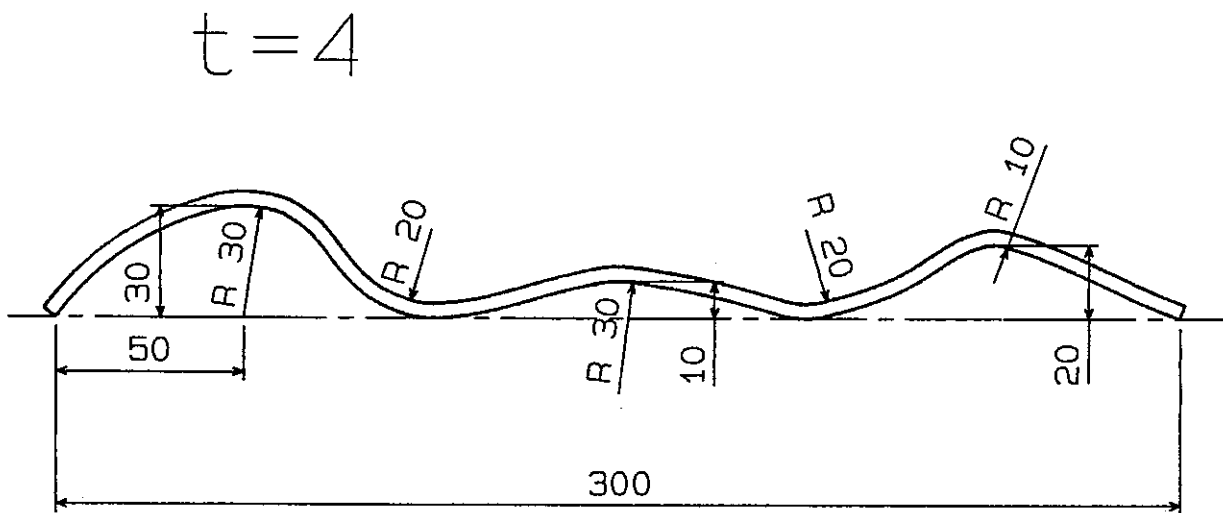


図-5.2 湾曲模擬試験体製作図

#### 5.1.4 脚受け板模擬試験体

ハル缶の脚受け板を模擬した板厚 4mm で曲率半径 R20 の曲面と穴径  $\phi 10$  のある脚受け板模擬試験体を製作した。

製作図を図-5.3 に示す。

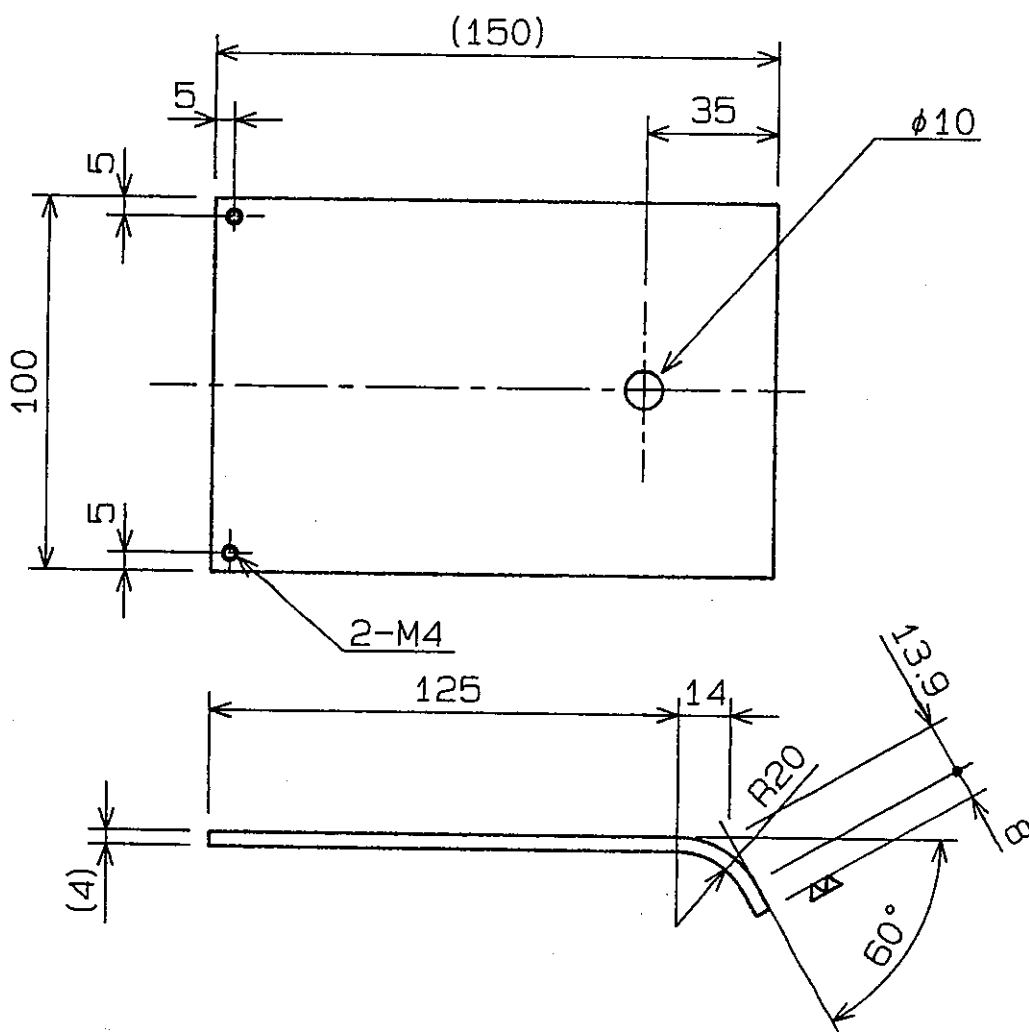


図-5.3 脚受け板模擬試験体製作図



### 5.1.5 底板端部模擬試験体

ハル缶の底板を模擬した板厚15mmで端部の面取り角度が $60^\circ$ の底板端部模擬試験体を製作した。

製作図を図-5.4に示す。

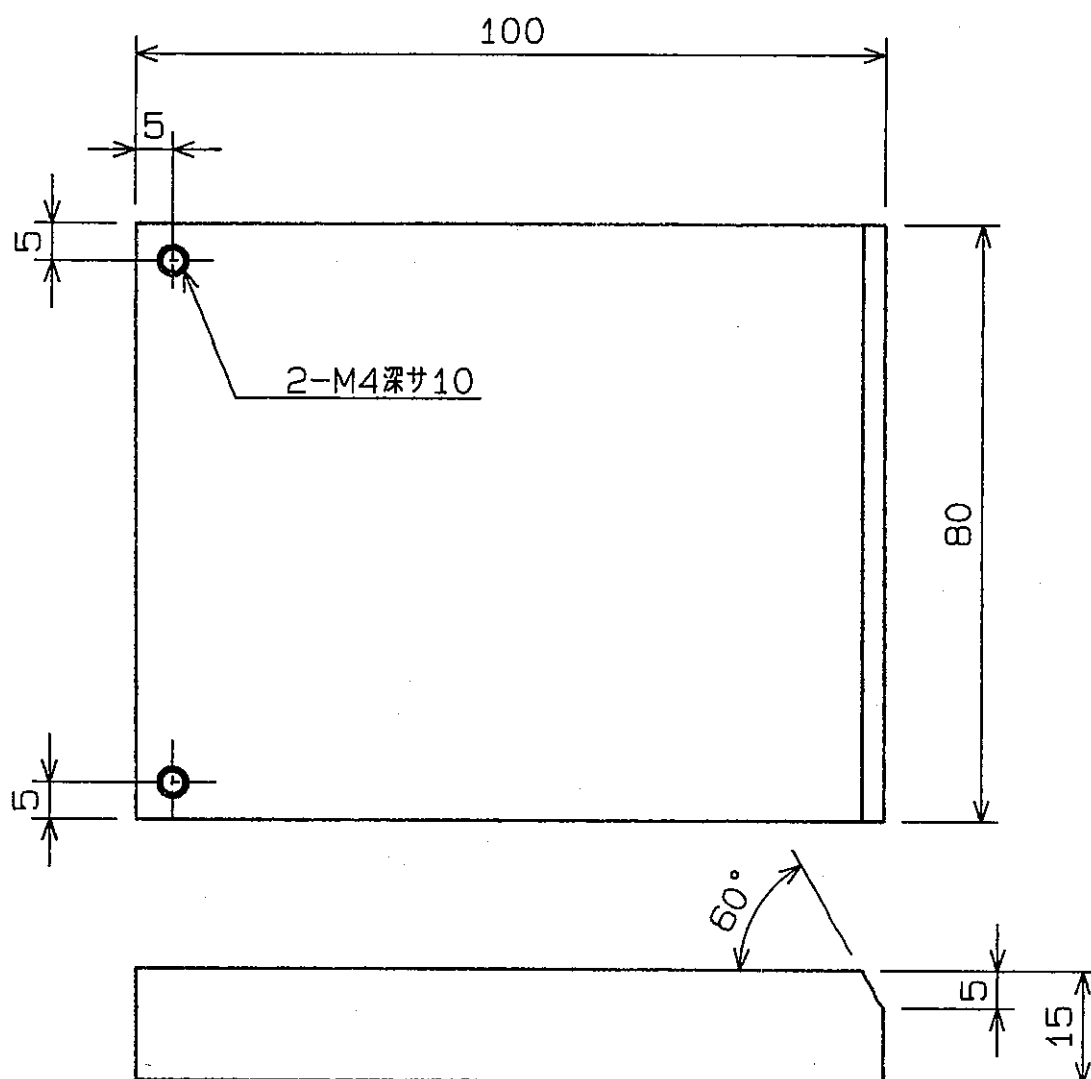


図-5.4 底板端部模擬試験体製作図

### 5.1.6 蓋補強部模擬試験体

ハル缶の蓋補強部を模擬した板厚 6mmと板厚15mmが溶接部された蓋補強部模擬試験体を製作した。

製作図を図-5.5 に示す。

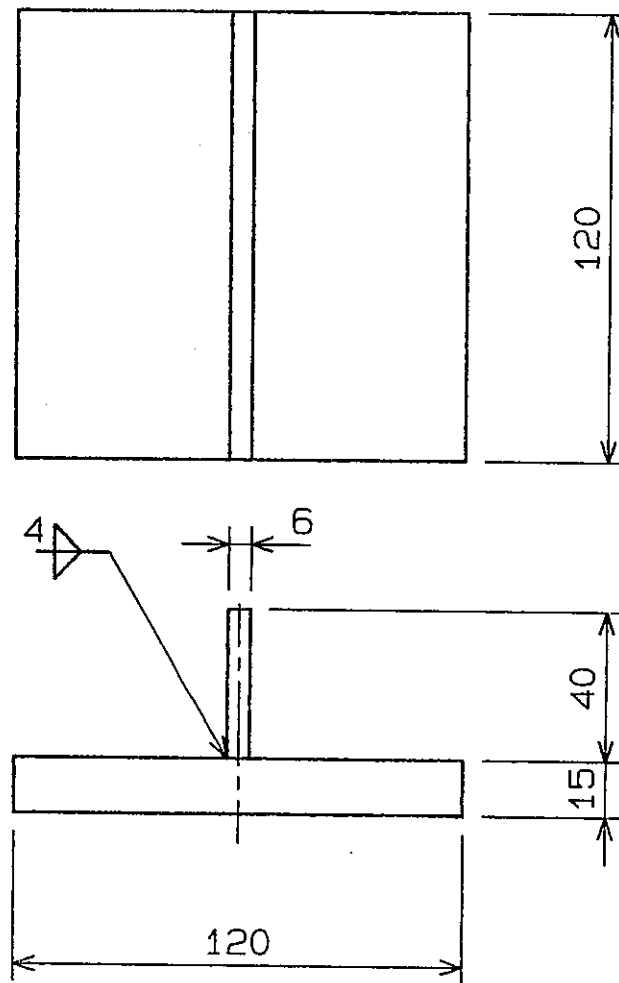


図-5.5 蓋補強部模擬試験体製作図

### 5.1.7 締め付けリング模擬試験体

ハル缶の締め付けリングを模擬した端部に段差 4mmがありネジ穴M20 がある締め付けリング模擬試験体を製作した。

製作図を図-5.6 に示す。

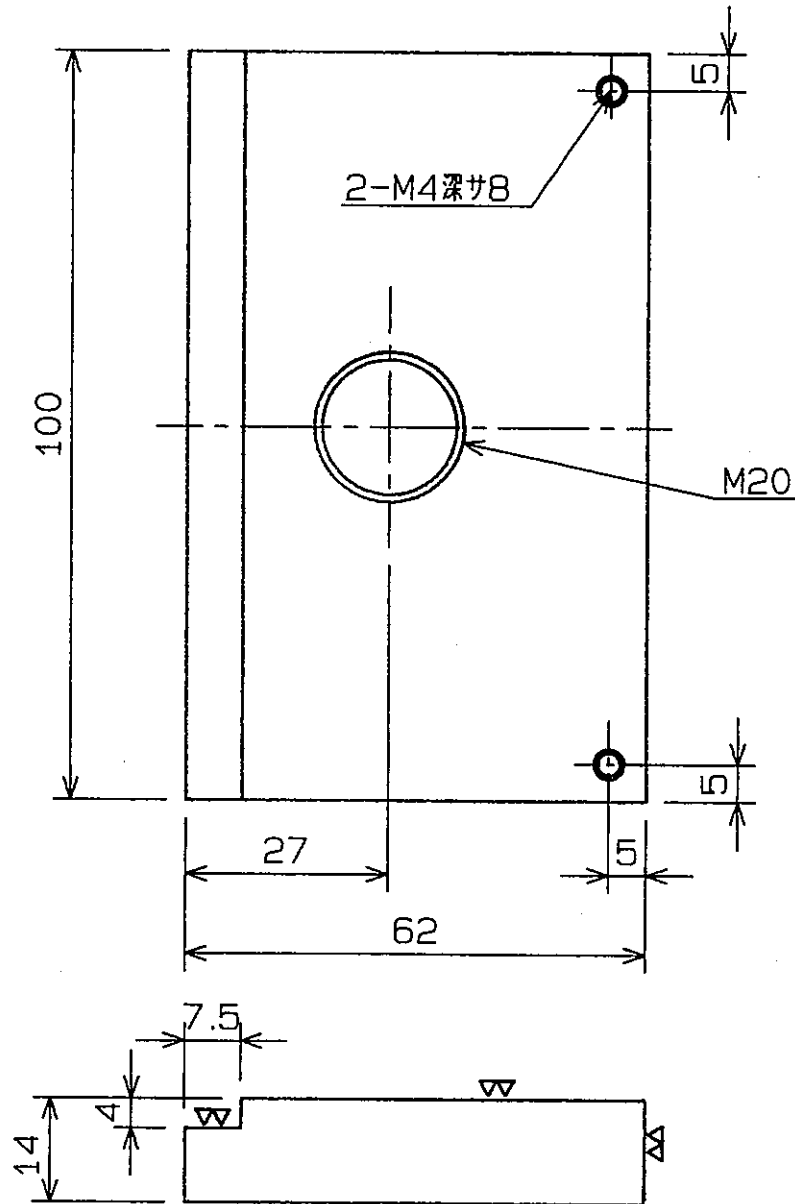


図-5.6 締め付けリング模擬試験体製作図

## 5.2 センシングシステムの確証試験

### 5.2.1 センサの選択

#### (1) センサの机上検討

ハル缶切断に要求されるセンシングシステムは、以下の内容が要求される。

- ①狭窄部にある対象物の検出が可能なこと。
- ②応答速度が速くトーチの動作速度が速いこと。
- ③金属面の距離検出が可能なこと。
- ④耐環境性の高いこと。

これらの条件を考慮にいれ、距離の検出方法が異なる各種タイプのセンサ特性を調査し、ハル缶切断システムへの適用性を机上で比較検討した。

各種センサ特性の比較表を表-5.3 に示す。

表-5.3 センサ比較表

項目	渦電流式	超音波式	レーザー角測距式	レーザーホーク式	接触式	静電容量式
対象物	金属	ほとんどの物体	不透明体・半透明体	ほとんどの物体	固体	金属
測定基準距離	短い (0~10mm)	長い (60~600mm)	普通 (40~300mm)	短い (5mm)	普通 (30~60mm)	短い (0.3~10mm)
測定範囲	短い (0~10mm)	長い (60~600mm)	普通 (±5~±100mm)	短い (±0.3mm)	短い (30~60mm)	短い (0.3~5mm)
分解能	高い (0.3~1μm)	低い (0.1mm)	高い (2~50μm)	高い (0.1μm)	高い (±2μm)	普通 (0.01mm)
応答速度	速い (3.3~18kHz)	遅い (3~20Hz)	速い (~1kHz)	普通 (~100Hz)	遅い (~40Hz)	トチ全体可動速度 max300mm/sec
検出物体サイズ	ヘッド径の3倍以上	□10mm以上	スポット径φ1mm	スポット径2μm	センサヘッドと同等	2mm
センサヘッド	普通 φ8~φ22mm	大きい φ20~φ65mm	大きい 25×70mm	大きい 33×90mm	小さい φ3.5~φ5mm	小さい ノズル先端がセンサ電極
耐環境性	強い	普通 検出物体とセンサヘッドの 熱風で誤差大	普通 白熱ランプ/蛍光灯: 4000lx以下	普通 白熱ランプ/蛍光灯: 2000lx以下	弱い 周囲金属や外部磁界 で出力変化大	強い
メーカー例	キーエンス オムロン	キーエンス オムロン	キーエンス オムロン	キーエンス	キーエンス オムロン	Precitec/ 日本ワイドビュー

表-5.3 に基づいて総合的に判定した評価結果をまとめて表-5.4 に示す。

表-5.4 センサ机上検討結果

距離センサ	判定	問題点	備考
渦電流式	×	検出物体サイズ過大	金属以外検出不可能
超音波式	×	応答速度が遅い	
レーザフォーカス式	△	測定距離範囲が小さい	
接触式	△	耐環境性, 先端の磨耗, 衝突時の破損対策困難	
レーザ3角測距式	○	対象物の反射率依存性	
静電容量式	○	特になし	金属以外検出不可能

今回の机上検討結果では、レーザ3角測距式、および静電容量式の2種類についてハル缶のセンシング制御に適用の可能性が見いだせることから、この2種類の方式についてハル缶の表面仕上げ状態を模擬した試験体にて評価試験をおこなった。

## (2) センサの選択試験

### (i) レーザ変位計の評価試験

前項で検討したレーザ三角測距式について、評価試験をおこなった。センサと測定対象物の距離を100mmとして、その時のセンサの検出誤差を測定・評価した。評価に使用したセンサは、キーエンス社のセンサヘッドLB-01とアンプLB-60である。

評価の判定基準は、レーザ切断のスタンドオフ設定値が通常数mmであることから、距離測定誤差±1mm以内のとき測定可能と判断した。

### (a) 試験片の場合

各種の金属切削表面および特殊形状のワークに対して、垂直方向からの距離測定試験を①標準粗さ片、②平板、③丸棒の各試験片でおこなった。

レーザ変位計の距離測定試験結果を表-5.5に示す。

標準粗さ片は、切削加工の標準片を集めたものであるが、ほとんどの粗さ片では、判定基準から外れ、一部の粗さ片では、測定値を表示せず検出不可能となることが判明した。検出不可能となる原因は、切削された面が鏡面状態に近い場合、投光したレーザ光が表面で正反射し、受光部に戻る光量が弱くなってしまいうためと考えられる。また、粗さ片の切削方向とセンサ検出方向が平行な場合と垂直な場合では測定値が異なった。

平板は、表面が梨地状の試験片で測定をおこなった。その結果、光沢のある面では測定可能であったが、光沢のない面では検出誤差が大きかった。この原因は、光沢のない面では拡散反射する光量が弱くなっているためと考えられる。

丸棒は、切削加工された光沢のある試験片で測定をおこなった。その結果、センサの検出方向が丸棒の長手方向に対して、水平の場合と垂直の場合ともに検出誤差が大きかった。この原因は、表面が鏡面状態に近い場合、投光したレーザ光が正反射し、受光部に戻る光量が弱くなってしまいうためと考えられる。

### (b) 実ハル缶の場合

実ハル缶の胴体を使用して、ワークを傾斜させた場合の距離測定試験をおこなった。結果を表-5.6に示す。実ハル缶の胴体の場合には、傾斜角度0～55°のほとんどの範囲で判定基準内にあったが、特定の傾斜角度5°で検出不可能になった。

表-5.5 レーザ変位計の距離測定試験結果 (1/3)

試験条件

センサ型式：(株)キーエンス センサヘッド LB-01 / アンプ LB-60

基準測定距離：100mm，標準粗さ片：日本金属電鑄製 (JIS B0659 準拠)

(a) 標準片 1

(判定基準：○ $\leq$ 1mm, × $>$ 1mm)

加工方法	ペーパー	平面研削						形削				
		▽▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽			▽▽	▽▽▽	▽▽		▽	
区分値 粗さ番号	0.8-S SN-4	0.8-S SN-4	1.6-S SN-5	3.2-S SN-6	6.3-S SN-7	12.5-S SN-8	25-S SN-9	6.3-S SN-7	12.5-S SN-8	25-S SN-9	50-S SN-10	100-S SN-11
切削方向 と 検出方向 平行	× 誤差 49mm	× 誤差 24mm	× 誤差 5.2mm	× 誤差 25mm	× 誤差 17mm	× 誤差 12mm	× 誤差 6.1mm	× 誤差 6.7mm	× 誤差 4.5mm	× 誤差 3.1mm	× 誤差 1.2mm	× 検出不能
切削方向 と 検出方向 垂直	× 誤差 15mm	× 誤差 15mm	× 誤差 2.5mm	× 誤差 1.9mm	× 誤差 1.5mm	× 誤差 1.3mm	× 誤差 1.3mm	○ 誤差 0.9mm	○ 誤差 0.7mm	○ 誤差 0.7mm	○ 誤差 0.6mm	× 誤差 -2.4mm



表-5.5 レーザ変位計の距離測定試験結果 (2/3)

(b) 標準片 2

(判定基準: ○ ≤ 1mm, × > 1mm)

加工方法	正面フライス削						フライス削					
	▽▽▽			▽▽		▽	▽▽▽			▽▽		▽
R <sub>max</sub>	1.6-S SN-5	3.2-S SN-6	6.3-S SN-7	12.5-S SN-8	25-S SN-9	50-S SN-10	1.6-S SN-5	3.2-S SN-6	6.3-S SN-7	12.5-S SN-8	25-S SN-9	50-S SN-10
区分値 粗さ番号												
切削方向 水平 検出方向 水平	× 誤差 7.0mm	× 誤差 11mm	× 誤差 12mm	× 誤差 11mm	× 検出不能	× 誤差 23mm	× 誤差 14mm	× 誤差 2.6mm	× 誤差 2.7mm	× 誤差 2.2mm	× 誤差 7.2mm	× 誤差 2.3mm
切削方向 垂直 検出方向 水平	○ 誤差 0.6mm	○ 誤差 0.1mm	○ 誤差 1.0mm	× 誤差 1.1mm	○ 誤差 1.0mm	○ 誤差 -0.7mm	× 誤差 48mm	× 誤差 48mm	× 誤差 7.3mm	× 誤差 14mm	× 誤差 1.9mm	× 誤差 5.9mm

(c) 平板

検出面	平板 SUS304-HP
光沢のある面	○ 誤差 0.6mm
光沢のない面	× 誤差 1.6mm

(d) 丸棒

検出方向	丸棒 SUS304-B φ20 光沢有り
丸棒の長手方向と 検出方向が水平	× 誤差 1.6mm
丸棒の長手方向と 検出方向が垂直	× 誤差 3.1mm

表-5.5 レーザ変位計の距離測定試験結果 (3/3)

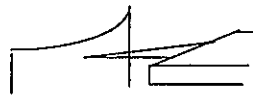
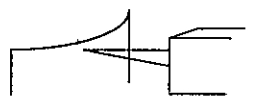
試験条件

センサ型式：(株)キーエンス センサヘッド LB-01 / アンプ LB-60

基準測定距離：100mm, 標準粗さ片：日本金属電鍍製 (JIS B0659 準拠)

(e) 実ハル缶胴部

(判定基準：○ $\leq$ 1mm, × $>$ 1mm)

	傾斜角度 (°)												
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
△ライン方向と検出方向 平行 	○ 誤差 0.3mm	× 検出 不能	○ 誤差 0.5mm	○ 誤差 -0.3mm	× 誤差 1.1mm	○ 誤差 0.4mm	○ 誤差 0.3mm	○ 誤差 0.1mm	○ 誤差 0.1mm	○ 誤差 0.4mm	○ 誤差 1.0mm	○ 誤差 1.0mm	× 検出 不能
△ライン方向と検出方向 垂直 	○ 誤差 0.4mm	○ 誤差 0.6mm	○ 誤差 -0.1mm	○ 誤差 0.1mm	○ 誤差 0.1mm	○ 誤差 -0.5mm	○ 誤差 -0.1mm	○ 誤差 -0.4mm	× 誤差 -1.1mm	○ 誤差 -0.6mm	× 誤差 -1.3mm	○ 誤差 -1.0mm	× 検出 不能

(ii) 静電容量式センサの評価試験

評価した静電容量式センサは、レーザトーチとワーク間の距離をセンシングし、トーチを制御するシステムになっているものを使用した。試験方法は、スタンドオフ設定値を 1mm として、ハル缶の胴部と同じような光沢面の平板を使用し、ワークを傾斜させた場合のトーチとワーク間の距離を測定評価した。

測定結果を表-5.6 に示す。

表-5.6 静電容量式ハイトセンサの距離測定試験

[判定基準：○ $\leq$  1mm, × $>$  1mm]

ワーク	傾斜角度 (°)						
	0	10	20	30	40	50	60
平板	○ 誤差 0mm	○ 誤差 0.2mm	○ 誤差 0.4mm	○ 誤差 0.7mm	× 誤差 1.4mm	× 誤差 2.3mm	× 測定不能

傾斜角度 0~30° の範囲では、判定基準内であった。傾斜角度 40~50° の範囲では誤差が大きくなった。また、傾斜角度 60° では、トーチの側面がワークに接触したため測定不能となった。傾斜角度 50° 以下の角度では、検出不可能となることはなかった。

(iii) まとめ

レーザ三角測距式ハイトセンサは、金属の切削面では、誤差が大きくなることが判明した。また、特定の検出角度や特定の切削面で検出不可能になることがあることが判明した。

静電容量式ハイトセンサは、傾斜角度による測定誤差はあったが、表面の加工状態や検出角度によって検出不可能になることがないため、ハル缶のセンシングには適用可能と判断できる。

したがって、本試験では静電容量式ハイトセンサシステムを選択した。

### 5.2.2 スタンドオフ制御性の確認

本試験では、ドイツのプレシテック社製の静電容量式センシングシステムを採用した。装置構成は、レーザトーチ、センサドライバ、モータコントローラ、およびリモートコントローラである。

選定したシステムの構成を図-5.7 に示す。外観写真を写真-5.1 に示す。

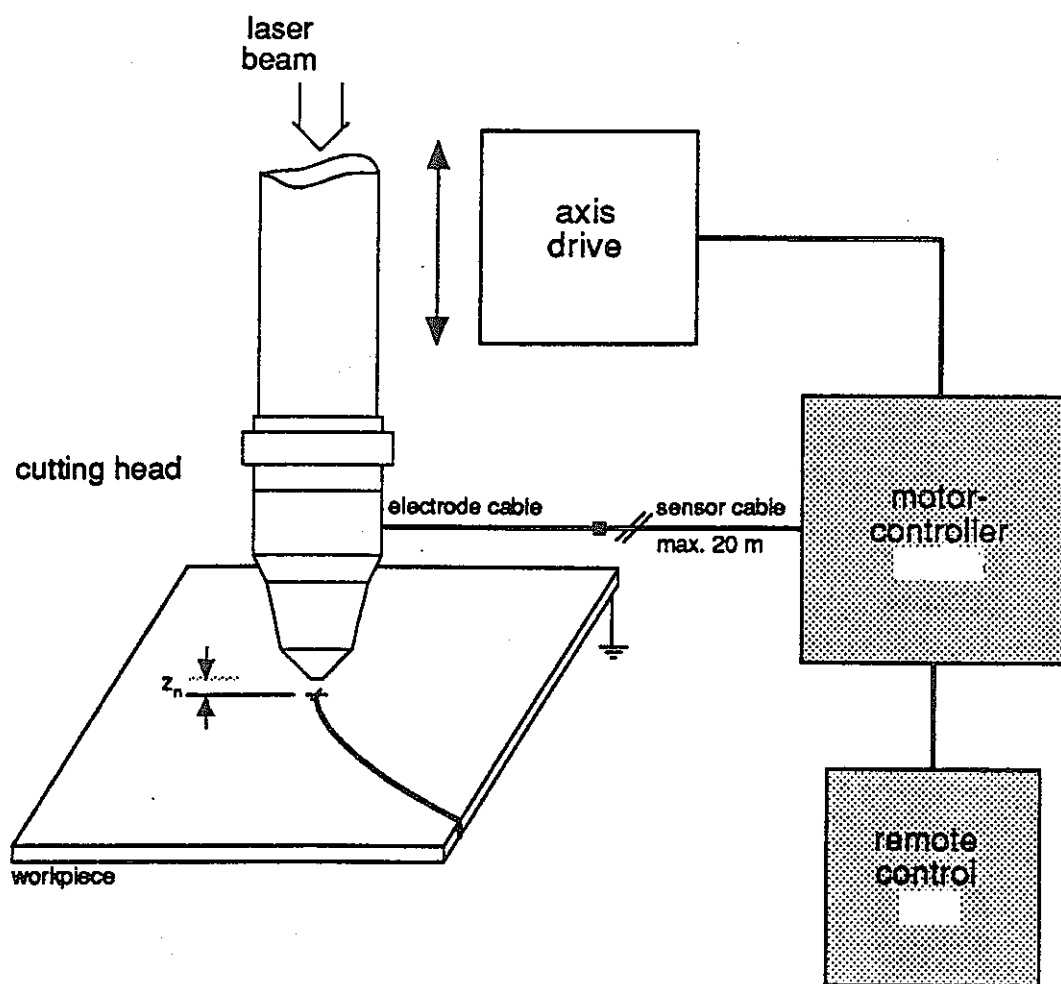
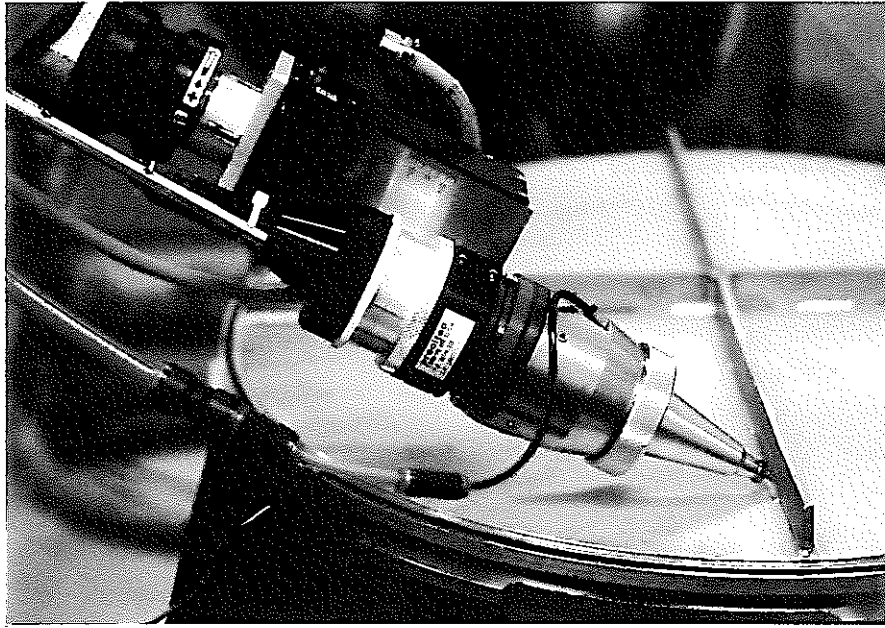
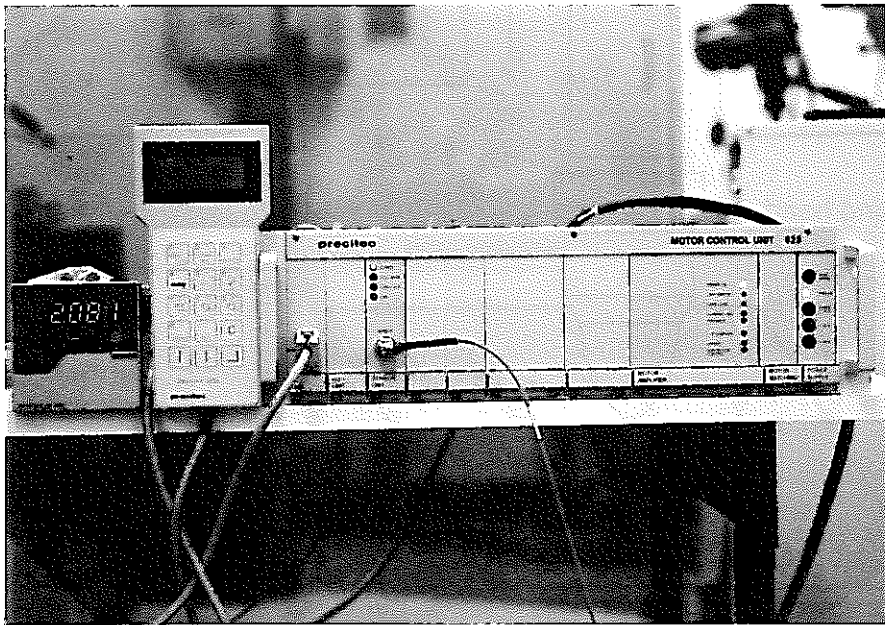


図-5.7 静電容量式センシングシステム構成図



(a)レーザータッチとセンサドライバ



(b)コントローラ

写真-5.1 静電容量式センサ

静電容量式センシングシステムは、トーチ先端のノズルチップが、センサ電極になっており、金属のワーク側をセンシングシステムのグラウンド側に接続させた構成により、センサ電極と金属のワーク間の静電容量を検出し、センサ電極と金属のワーク間の距離を制御するものである。動作させる場合には、あらかじめコントローラに、センサ電極と金属のワーク間の距離に対応する静電容量のデータを記憶させておく。センサドライバは、コントローラに設定したスタンドオフ値の静電容量になるように、トーチを上下に動作させてスタンドオフを一定に制御する。

平成6年度の切断条件<sup>1)</sup>での切断を考慮し、トーチのレンズ構成を平成6年度と同等にした。コリメートレンズは、平成6年度の試験に使用したレンズを使用し、加工レンズは、平成6年度の試験<sup>1)</sup>と同等の焦点距離であるハイトセンサシステムの標準レンズを使用した。

ハイトセンサシステムの仕様を、表-5.7 に示す。

表-5.7 ハイトセンサシステム仕様

項目	仕様
コリメートレンズ	焦点距離f80(φ60)
加工レンズ	焦点距離f120(φ50)
測定可能スタンドオフ	0.1~10mm
分解能	0.01mm
測定スポット径	半径2mm (スタンドオフ1mm, 標準電極)
可動範囲	±15mm
リニアリティ	±0.3%
制御方式	P I D制御
動作速度	最大300mm/s(負荷3kg以下)
動作加速度	最大 10m/s <sup>2</sup> (負荷3kg以下)
供給電源	230V, 2A, 50Hzまたは115V, 3. 15A, 60 Hz

## (1) 基本特性の確認

ハイトセンサの基本特性として、段差試験体の追従性、傾斜試験体の制御性と追従性、および試験体端部の検出について試験をおこなった。本ハイトセンサシステムでは、トーチが、ワークに一定時間、接触または衝突すると、トーチはワークから離れるように動作する。

したがって、本報告書では、追従性の判断基準を、トーチが、ワークに接触または衝突せず、かつワークとのスタンドオフを制御しながら移動できる場合を追従可能と定義した。

基本特性の試験では、トーチを固定して、ワークを載せたXYテーブルを移動させて、試験をおこなった。

### (i) 段差試験体の追従性

#### (a) 標準電極タイプの特性確認

センサ標準電極を使用し、トーチを試験体に対して垂直に向けた状態で、段差を上る場合(UP)と下る場合(DOWN)の両方向について追従試験をおこなった。

試験条件は、スタンドオフ：1～5mm，段差：1～14mm，移動速度：60～1200mm/minの範囲とし、制御条件をP=150 \* )とした。試験結果を表-5.8 に示す。

この結果から、以下のことが得られた。

- ① トーチが段差を上る方向よりも下る方向の方が、追従可能な段差は高かった。
- ② トーチが段差を上る方向では、スタンドオフ 1mmの設定で段差 2mm以上ある場合には、センサ電極が段差に接触し追従不可能であった。
- ③ トーチが段差を下る方向では、スタンドオフ 2mmの設定で段差 4mmのときにトーチ移動速度 150mm/min以上では追従可能であるが、100mm/min以下の場合に接触する現象があった。

---

脚注 \*) 制御条件P：制御出力量が設定値に対する偏差に比例して動作することを比例動作（P動作）と呼び、この比例の定数を比例感度または比例ゲインと呼ぶ。これは、サーボ機構のゲインに相当する。この装置の場合は、Pの値を大きくすると制御系の速応性と定常偏差は改善されるが、過ぎると安定度が悪くなり振動性が強くなる。

表-5.8 標準品の追従性試験結果

スタンドオフ (mm)	段差 (mm)	移動速度(mm/min)									
		60	100	150	200	300	400	600	800	1000	1200
1	1 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	≦ 3 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	4 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	×	○	○	○	○	○	○	○	○
3	≦ 4 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	5 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	6 UP DOWN	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	8 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	≦ 8 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	10 UP DOWN	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
5	≦ 12 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	14 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

平成6年度の試験結果<sup>1)</sup>では、ハル缶の蓋、底板、および締め付けリングと同じ、板厚15mmのSUS304の切断速度は、スタンドオフ 1mmのとき切断速度 160mm/min、スタンドオフ 2mmのとき切断速度 140mm/minであったが、スタンドオフ 3mmのときは切断不可能であった。つまり、ハル缶を切断するためのスタンドオフ条件は、2mm 以下であることが明らかになっている。また、締め付けリングの端部と同じ、段差 4mmを上る方向が追従可能であることが必要な条件である。

したがって、段差追従試験の結果から、標準電極タイプは、スタンドオフ 2mm以下の条件で段差 4mmを上ることができないため、ハル缶の締め付けリングの切断には適用できないことが明らかになった。



(b) 段差追従性の改善策

スタンドオフ 2mm以下の設定で、段差 4mmの追従を可能にするために、トーチ先端部のセンサ電極の外側を被っているシールドナットを短く削り、センサ電極の側面の露出量を大きくして、側面方向の検出感度を上げることにより段差の追従性の改善を試みた。

電極露出量の様子を図-5.8 に示す。

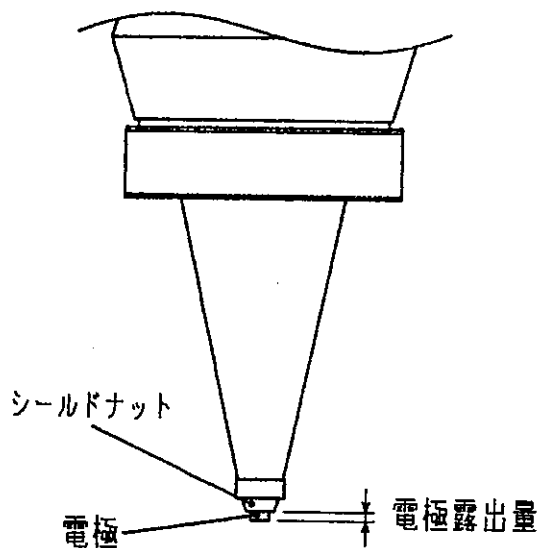


図-5.8 センサ電極露出量

(c) 電極タイプ# 1 の特性確認

標準電極タイプ（以降，# 0 とする）のシールドナットを短くし，電極露出量を 1mm 長くしたもの（以降，# 1 とする）を製作し段差追従試験をおこなった。

試験条件は，スタンドオフ：1~4mm，段差：1~5mm，移動速度：50~1200mm/min とした。試験結果を表-5.9 に示す。

この結果から，以下のことが得られた。

- ①スタンドオフ 1mm の設定条件では，段差 2mm を上る方向で，移動速度 50mm/min での追従が可能となり，段差 2mm を下る方向で，移動速度 50~1200mm/min での追従が可能となった。
- ②スタンドオフ 2mm の設定条件では，段差 4mm を上る方向と下る方向の両方向で移動速度 50~1200mm/min の範囲での追従が可能となった。また，段差 5mm では，下る方向の追従性が改善し，移動速度 200mm/min 以上での追従が可能となった。
- ③改良された電極 # 1 にすることにより，スタンドオフ 2mm の設定条件で，締め付けリングの段差 4mm が切断できる目処があった。

表-5.9 電極タイプ# 1 の追従性試験結果 1

スタンドオフ (mm)	段差 (mm)	移動速度(mm/min)										
		50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1200	
1	1 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	2 DOWN	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
2	≤ 4 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	5 DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	
	3	≤ 4 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 DOWN		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

(d) 制御条件変更後の # 1 の特性試験

前項の試験時におけるコントローラの制御定数がP=150 の場合には、段差の追従時にトーチが振動しワークに接触することがあった。この振動を抑えるために制御定数の比例ゲインを下げ、P=20に変更した。試験条件は、スタンドオフ：1~4mm，段差：1~5mm，移動速度：50~1200mm/minでおこなった。試験結果を表-5.10に示す。

この結果から、以下のことが得られた。

- ①スタンドオフ 1mmの設定条件では、段差 2mmを上る方向のとき、移動速度50mm/minでの追従が不可能となった。しかし、段差を下る方向では、段差 5mmを移動速度200mm/min 以上で追従可能となった。
- ②スタンドオフ 2mmの設定条件では、追従速度の限界が、段差 3mmを上る方向で400mm/minに、段差 4mmを上る方向で200mm/min に低下した。しかし、段差を下る方向では、段差 5mmを移動速度50~1200mm/minの範囲で追従可能となった。

表-5.10 電極タイプ # 1 の追従性試験結果 2

スタンドオフ (mm)	段差 (mm)	移動速度(mm/min)										
		50	100	150	200	300	400	600	700	800	1200	
1	1 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	2 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	4 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	
	5 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	
2	≦ 2 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3 UP	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	4 UP	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	5 UP	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3	≦ 4 UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 UP		○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4	≦ 5 DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(○ : 追従可能, × : 追従不可能)

(e) 電極タイプ# 2 の特性確認

電極タイプ# 1 を使用することにより、締め付けリングと同じ高さの段差 4mm を追従できるように追従性が改善されたが、さらに追従可能な段差の高さに余裕をもたせるために、電極露出量を# 1 よりさらに 1mm 長くし、段差追従試験をおこなった。これは標準電極タンプより 2mm 長い。試験条件は、スタンドオフ：1~4mm，段差：1~5mm，移動速度：50~1200mm/min でおこなった。制御条件は P=20 である。試験結果を表-5.11 に示す。

この結果から、以下のことが得られた。

- ① スタンドオフ 1mm の設定条件では、段差 2mm を上る方向で、移動速度 50mm/min での追従が可能となった。また、段差 3~5mm を下る方向で、追従性がさらに改善され、移動速度 50~1200mm/min の範囲での追従が可能となった。
- ② スタンドオフ 2mm の設定条件では、段差 3~4mm を上る方向での追従速度は、電極タイプ# 1 と同じであったが、段差 5mm を上る方向では、移動速度 150mm/min での追従が可能となり、追従可能高さに余裕ができた。

表-5.11 電極タイプ# 2 の追従性試験結果

スタンドオフ (mm)	段差 (mm)	移動速度(mm/min)										
		50	100	150	200	300	400	600	700	800	1200	
1	1 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	2 UP DOWN	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3~5 UP DOWN	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	≤ 2 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	4 UP DOWN	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	5 UP DOWN	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	3	≤ 4 UP DOWN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 UP DOWN		○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4	≤ 5 DOWN UP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

(f) まとめ

センサ電極の露出量を長くすることで、段差追従性が改善できることが確認された。また、センサを振動させないためには、制御条件の調整によって改善できることが確認された。

各種電極タイプに対するスタンドオフ 2mmの設定条件でまとめた段差追従試験の結果を図-5.9 に示す。

この図から、ハル缶切断の課題である締め付けリングの段差 4mmの追従に対して、電極タイプ # 1 と # 2 は、移動速度 200mm/minで追従可能であることがわかる。この速度は、締め付けリングの切断速度に対して、十分余裕のある速度である。また、電極タイプ # 2 では、段差 5mmにも追従可能である。

また、電極タイプ # 2 のスタンドオフ 2mmの設定条件で段差 2~5mm を上るときのトーチ先端の軌跡を図-5.10(a)に示し、段差を下るときのトーチ先端の軌跡を図-5.10 (b)に示す。

図-5.10(a)から、段差を上る場合の段差端部とトーチとの距離は、段差高さ 2~5mm の条件において1.53~1.66mmの範囲にあり、図-5.10(b)から、段差を下る場合の段差端部とトーチとの距離は、段差高さ 2~5mm の条件において1.70~1.83mmの範囲にあることがわかる。いずれの場合も、段差端部とトーチとの距離は、段差の高さが異なってもほぼ同等であり、スタンドオフ設定値の 2mmに対してわずかに小さくなる程度であった。

今後の切断試験で使用する電極タイプは、ハル缶の段差のセンシングに余裕度を考慮して段差 5mmが追従可能である電極タイプ # 2 を選択して試験をおこなうことに決定した。

設定スタンドオフ: 2 mm

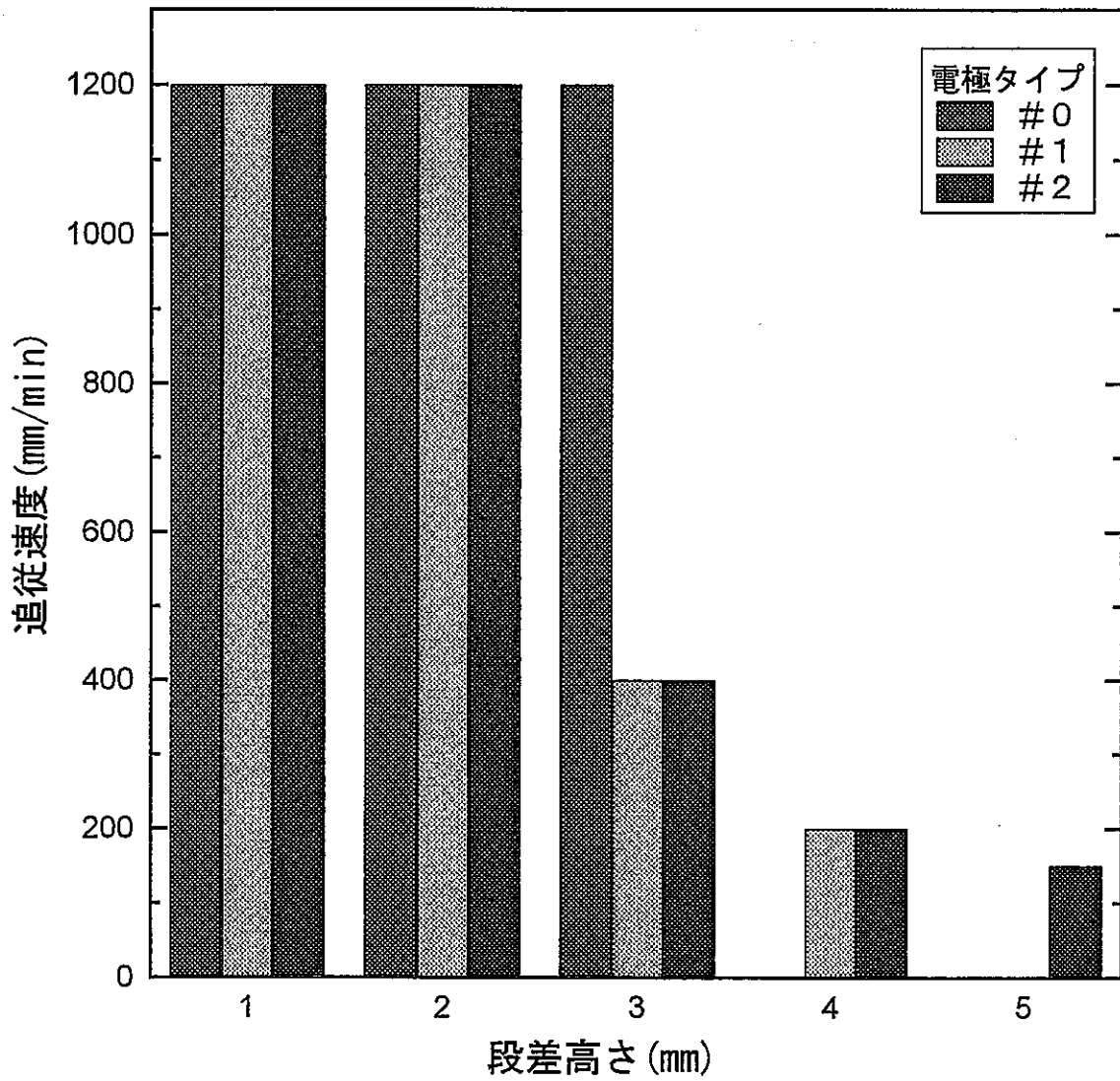


図-5.9 段差高さと追従速度の関係

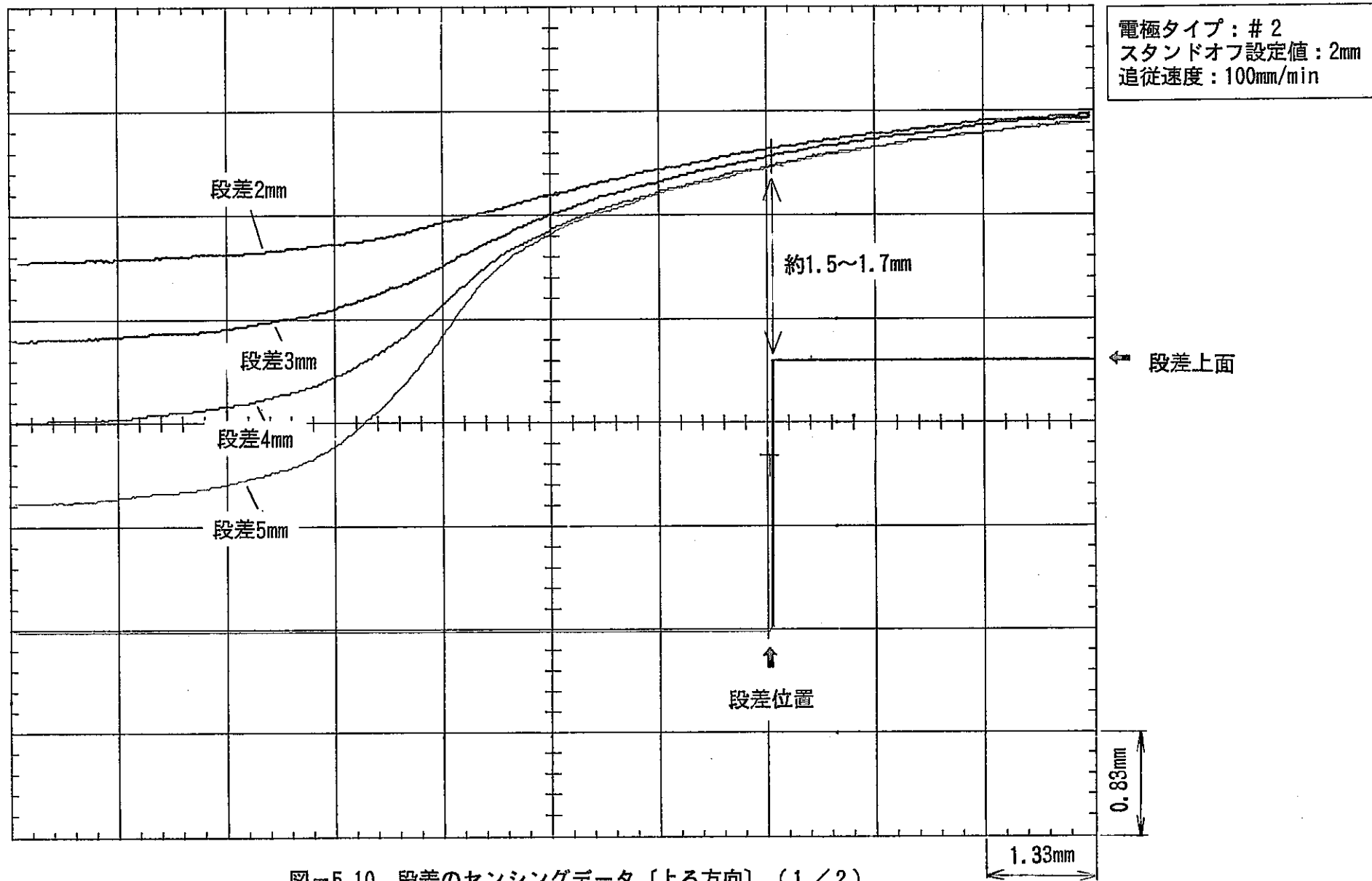


図-5.10 段差のセンシングデータ [上る方向] (1/2)

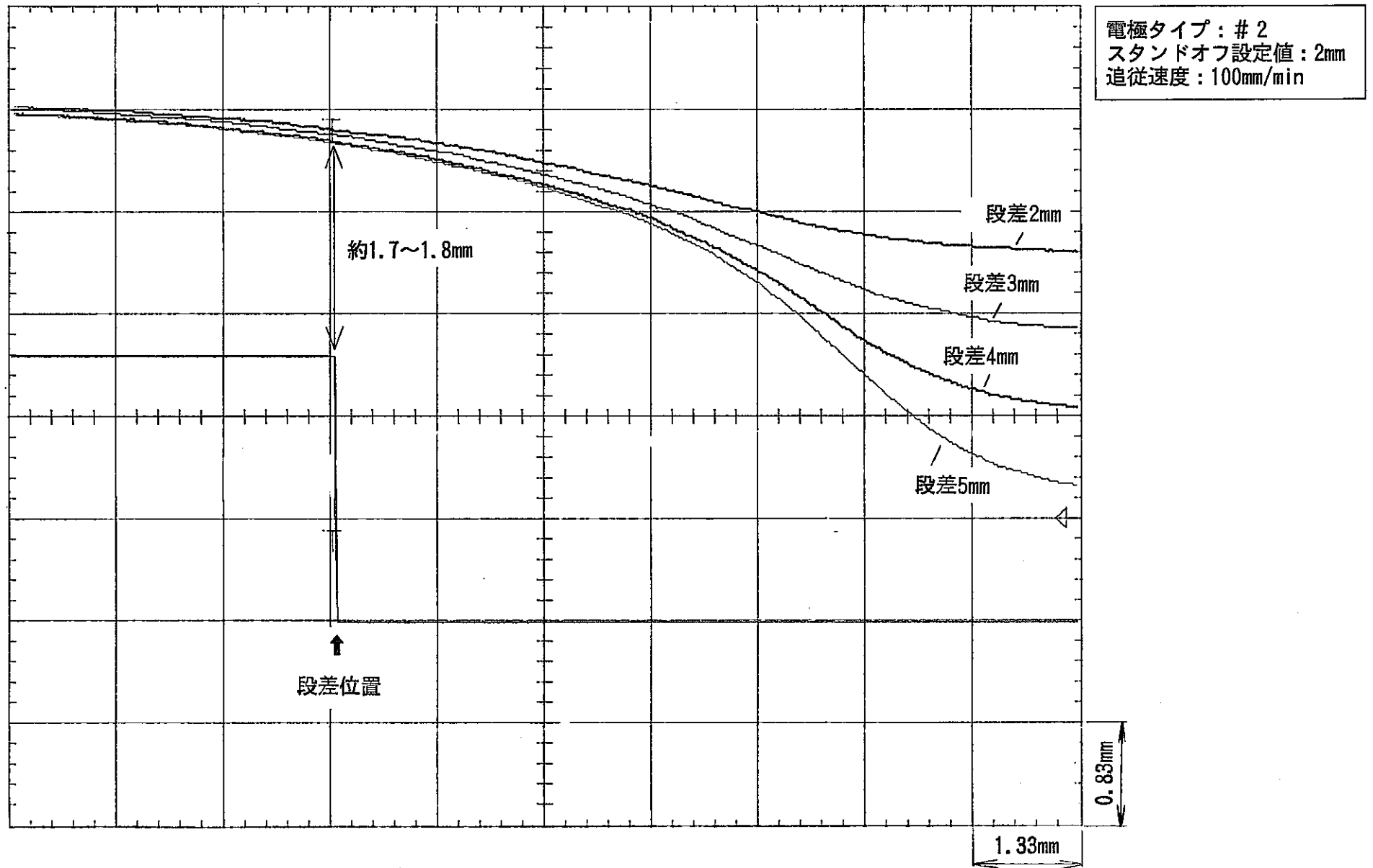


図-5.10 段差のセンシングデータ [下る方向] (2/2)



## (ii) 傾斜試験体の制御性

これまでの試験においては、トーチがワークに対して垂直に対向していたが、傾斜している場合には実際のスタンドオフは変化する。この課題について試験した。

本センサは、センサ電極とワーク間の距離を静電容量で測定するため、センサ電極がワークに対して斜めになった時にはスタンドオフ設定値に対して、クリアランスに制御誤差を生じる。ただし、本報告書では、クリアランスをトーチ先端の中心点とレーザ光軸上にあるワーク間の距離と定義した。

### (a) 傾斜試験体の制御性の確認

傾斜試験体の制御性確認の試験では、スタンドオフ設定値をパラメータにして平板試験体の傾斜角度に対するクリアランスを測定した。

図-5.11に実験構成図を示す。クリアランスの測定は、トーチを可動させるセンサドライバの変位電圧を距離に換算して求めた。ただし、接触状態のクリアランスは、部品寸法から計算して求めた。

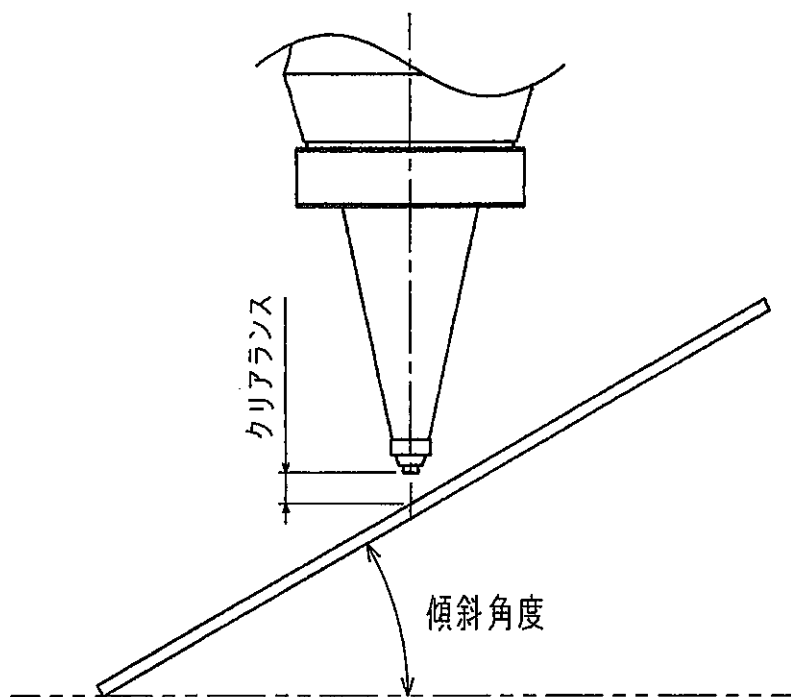


図-5.11 傾斜試験構成図

表-5.12に試験条件を示す。センサ電極には、前項の段差の追従性試験で使用した3種類の電極を使用した。また、ワーク傾斜角度は、ハル缶の底板端部の面取り角 $60^\circ$ を考慮して、傾斜角度  $0\sim 60^\circ$  の範囲とした。

表-5.12 制御試験条件

パラメータ	条件
センサ電極タイプ	#0, #1, #2
スタンドオフ設定値	1, 2, 3, 4, 5(mm)
ワーク傾斜角度	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 (°)

電極タイプ毎に試験したワーク傾斜角度とクリアランスの関係を図-5.12～図-5.14に示す。

これらの結果から、以下のことが得られた。

- ①ワーク傾斜角度の増加とともに、クリアランスは急激に広がることがわかった。
- ②図-5.12～図-5.14でスタンドオフ設定値が同じ条件の場合のクリアランスを比較すると電極露出量が長いほどクリアランスは大きく、 $\#0 < \#1 < \#2$ の関係にあることがわかった。

また、図-5.12～図-5.14のスタンドオフ設定条件 2mmの場合の傾斜角度とクリアランスの関係をまとめたものを図-5.15に示す。

この図から、電極タイプ#1と#2のクリアランスの差はわずかであり、#1と#2のワーク傾斜角度に対するクリアランスは、同等と判断できる。

#### (b) 傾斜模擬試験体の追従性試験

試験条件は、電極タイプ#2、スタンドオフ設定値 2mmとして、移動速度 100～1200 mm/minの範囲とした。結果を図-5.15に示す。

この結果から、以下のことが得られた。

- ①トーチが傾斜を下る方向では、トーチがワークから離れる方向であるため、トーチはワークに接触することはなく、試験した最大の移動速度1200mm/minの追従が可能であった。
- ②トーチが傾斜を上る方向では、傾斜角が大きくなるとともに追従可能速度は低下したが、得られた傾斜角度60°の追従速度は300mm/minであり、端部の面取り角度が60°であるハル缶底板の昨年度の切断速度 130mm/minに対して、十分に速い追従速度であった。

電極：#0

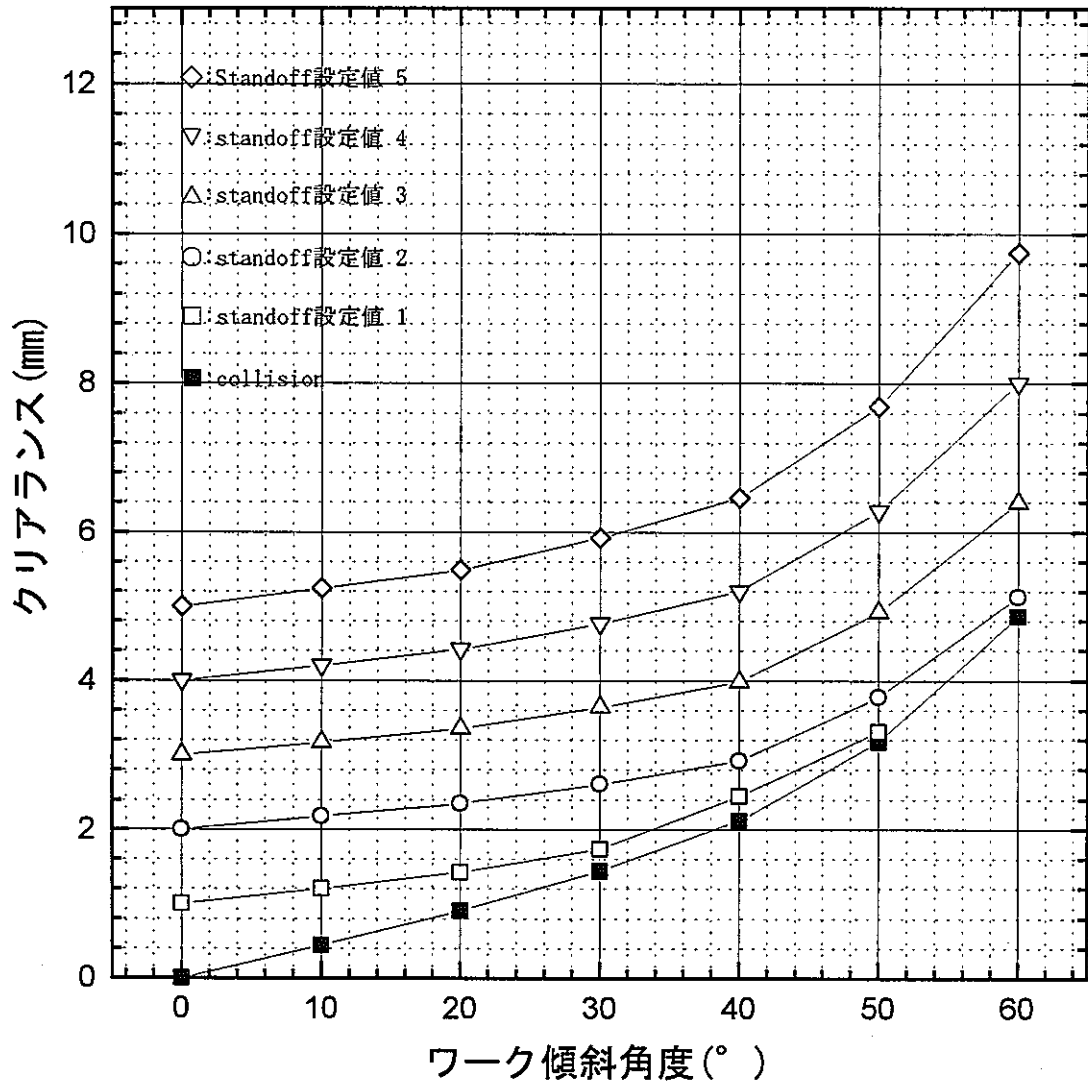


図-5.12 傾斜角度とクリアランスの関係 (電極タイプ#0)

電極：#1

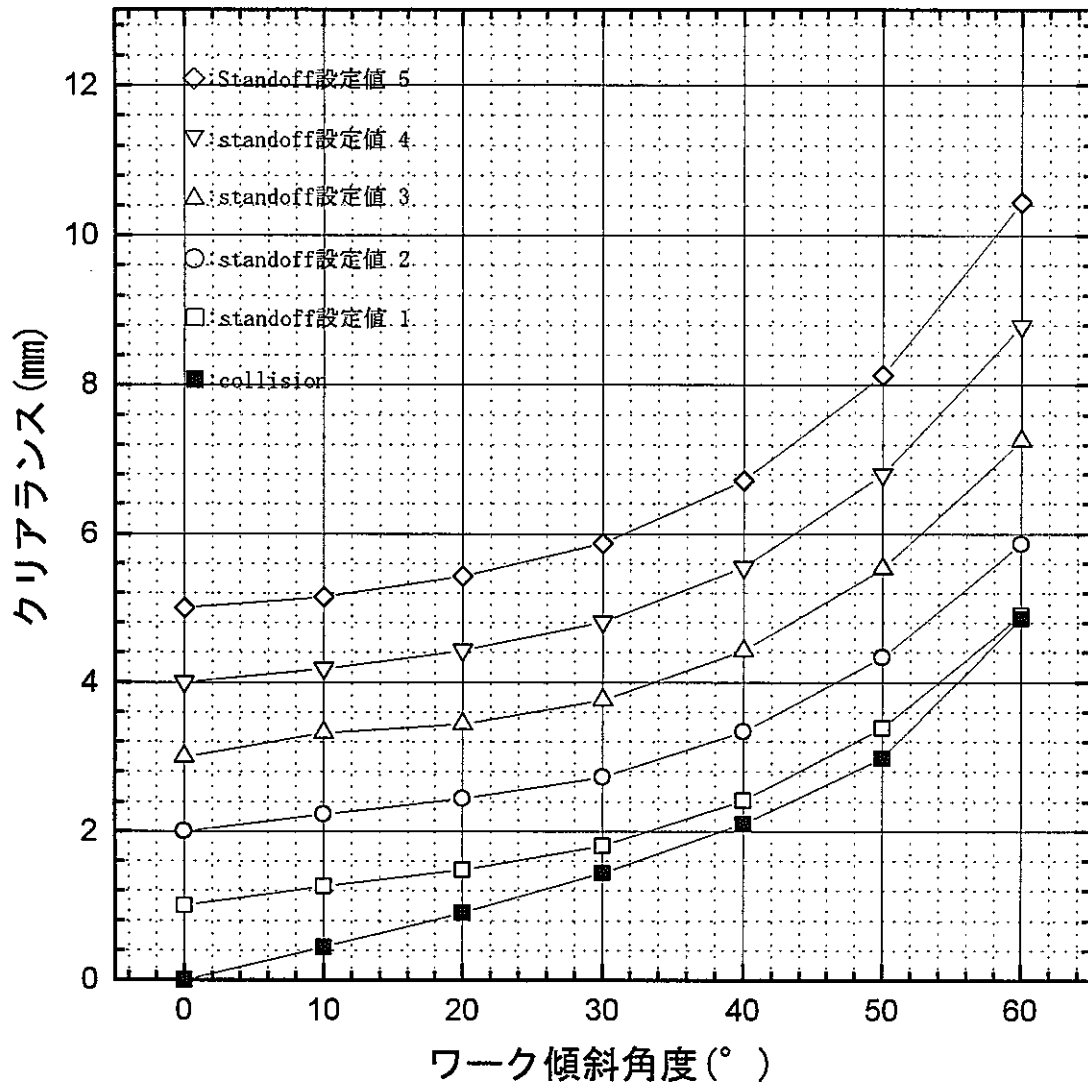


図-5.13 傾斜角度とクリアランスの関係 (電極タイプ # 1)

電極：#2

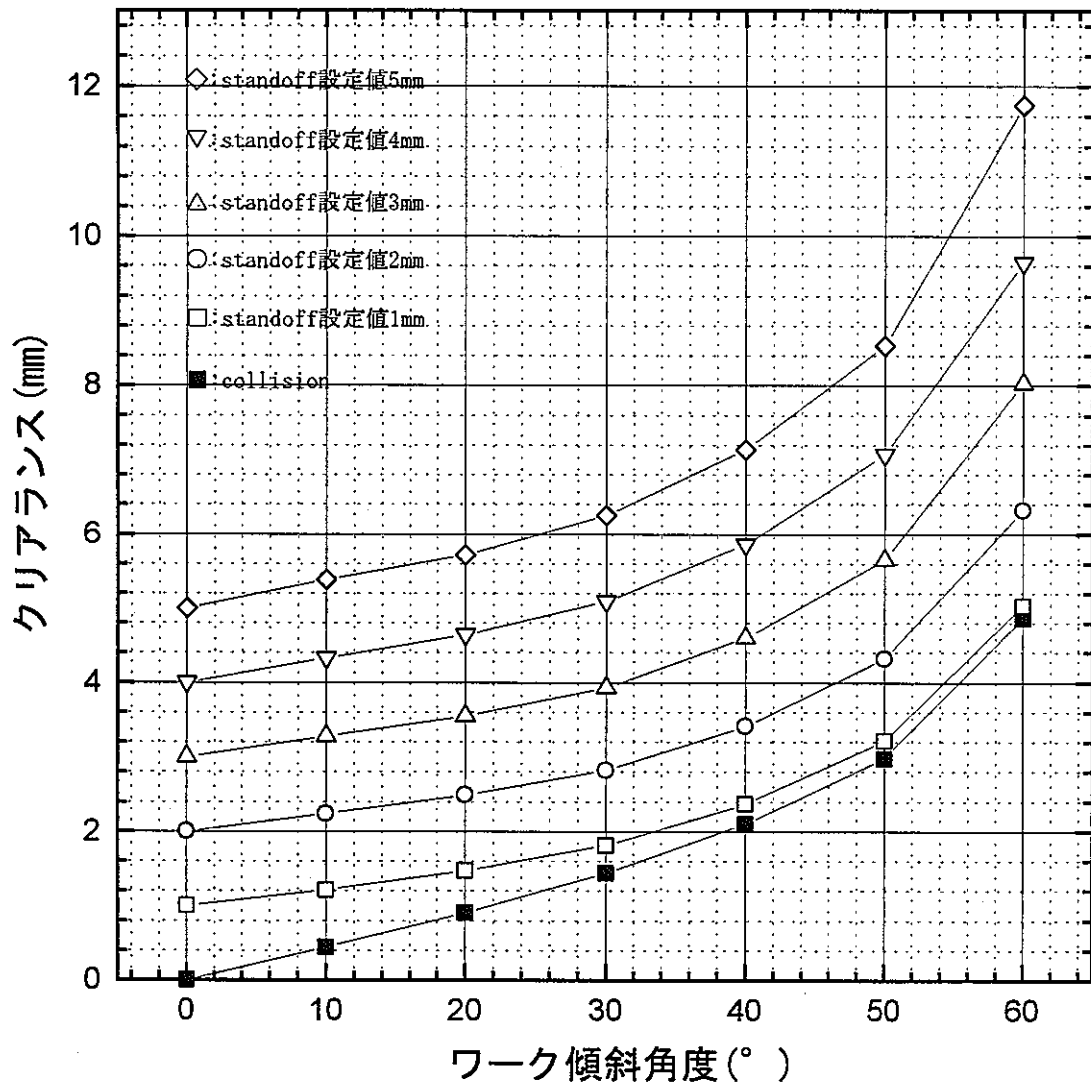


図-5.14 傾斜角度とクリアランスの関係 (電極タイプ#2)

スタンドオフ設定: 2mm

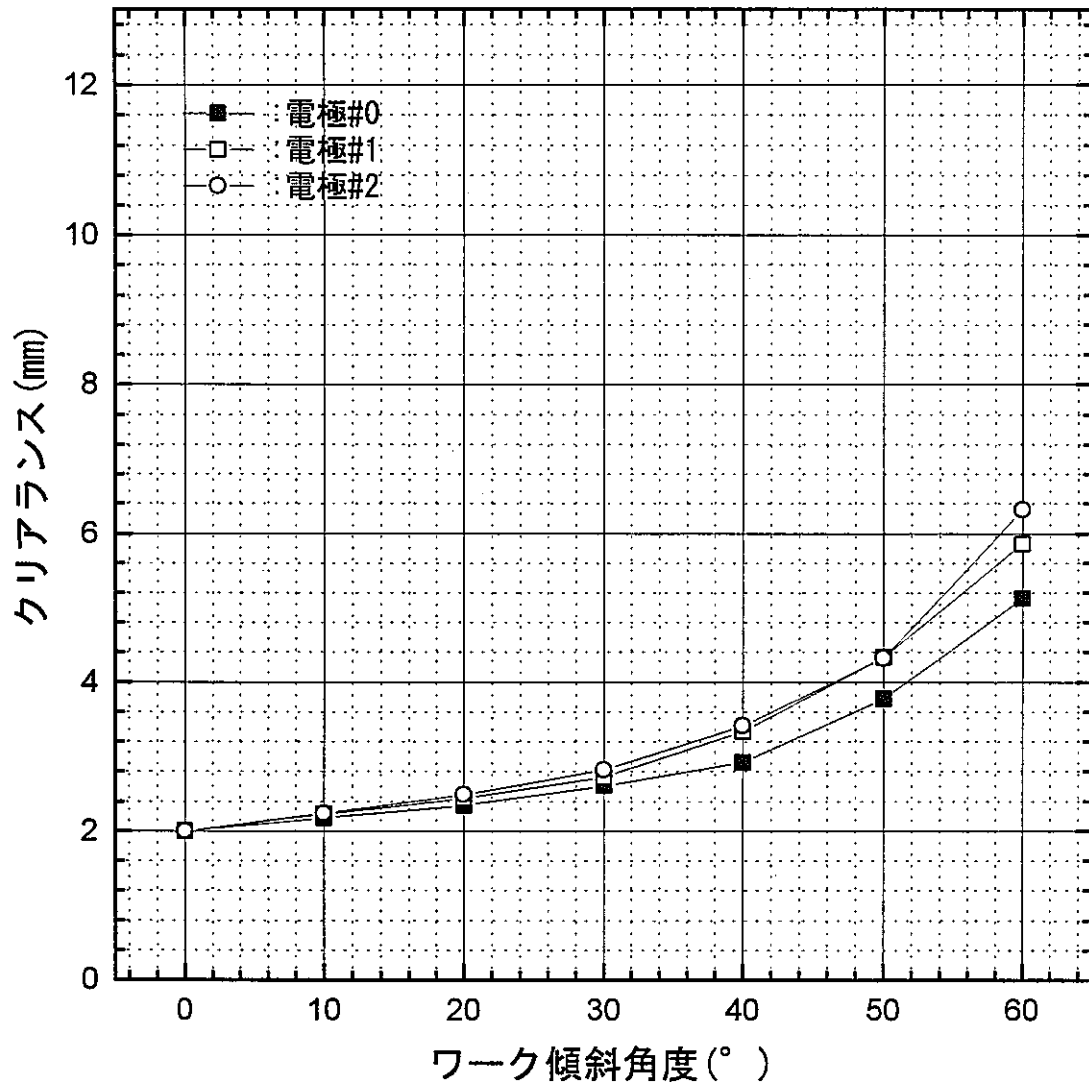


図-5.15 電極露出量とクリアランスの関係

「傾斜を上る方向」  
電極：#2 , スタンドオフ設定：2mm

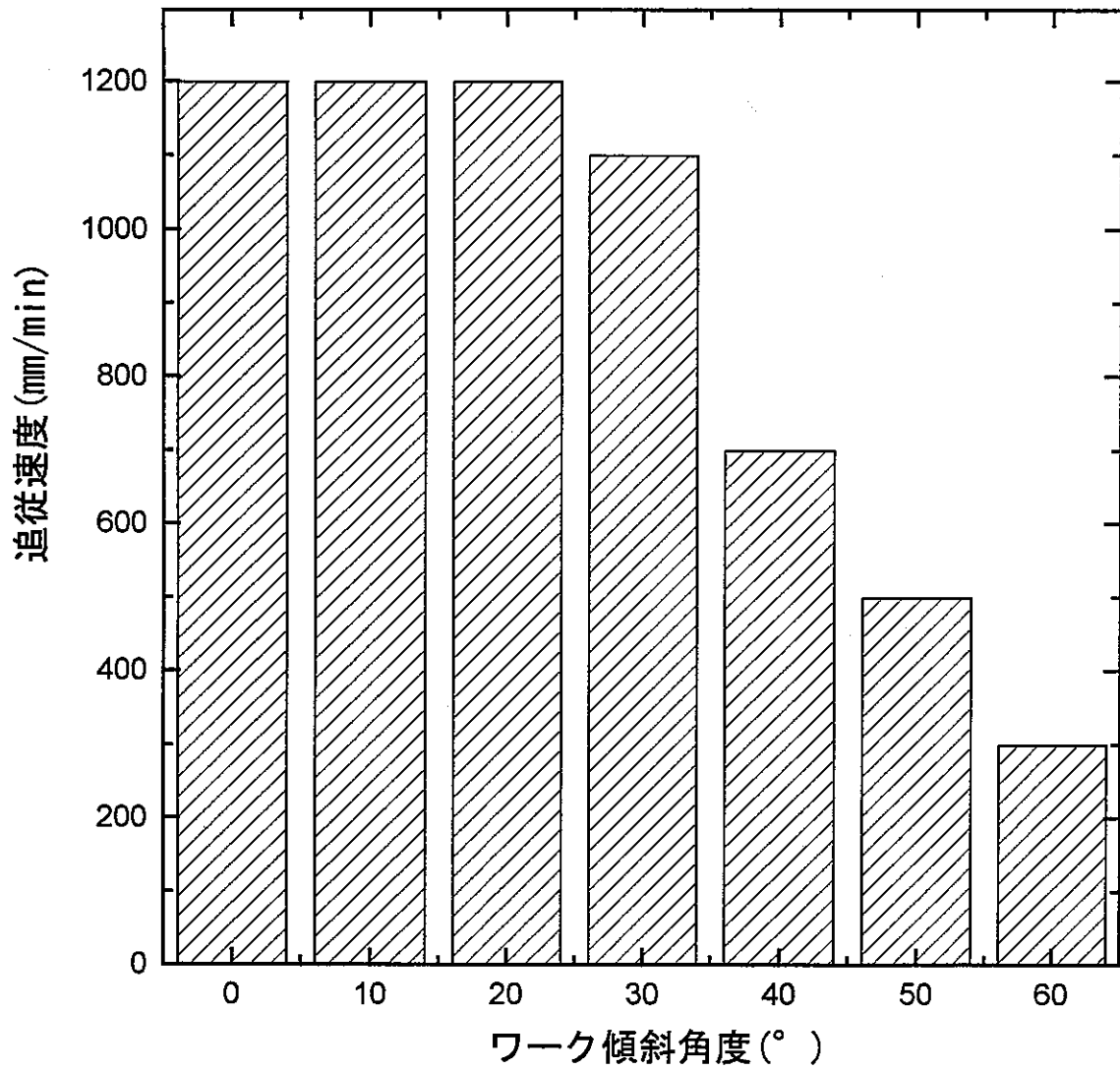


図-5.16 傾斜角度と追従速度の関係

### (iii) 端部の追従性

#### (a) ワーク端部からの追従性の課題

本センサは、ワークとのクリアランスを静電容量で測定する方式であるため、ワークの無い箇所ではクリアランスが大きいと判定し、センサは、下方の最大可動範囲まで移動する。ワークの端部を過ぎた時のトーチの動く様子を図-5.17に示す。

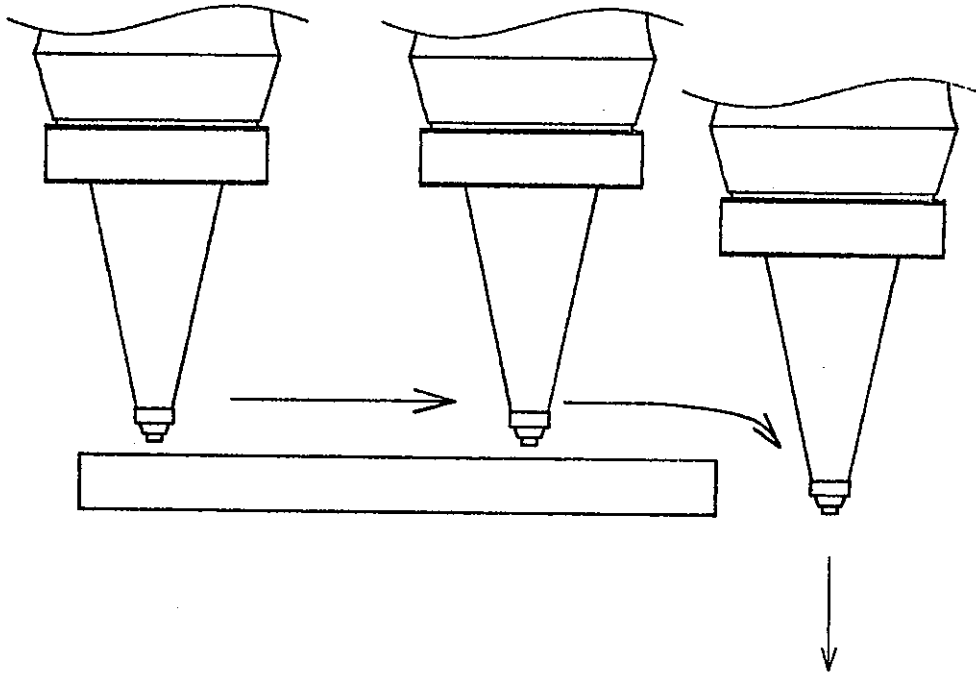


図-5.17 ワークの端部におけるトーチの動き

したがって、ワーク端部の外側からセンシングを開始する場合は、ワーク端部とセンサ先端の高さを合わせ、センシング動作をオフにしてトーチが下方に移動しないようにしておき、トーチがワーク端に近づいた時にセンシングを開始させるような動作に制御しなければならない。しかし、この方法は、ワーク端部とセンサ先端の高さを合わせるためのセッティング時間がかかり現実的ではない。



(b) 対策

この対策として、本試験では、試験の効率化を図るために、ワーク端部からのセンシングをおこなうための回路を考案し、端部検出回路とした。

これは、センサコントローラから出力されるクリアランスに比例した出力電圧が、設定値より大きいときにはセンサドライバの動作を停止するような回路構成である。

実際の動作は、トーチがワーク内側から外側に移動して、クリアランスが大きくなったときにセンサドライバを停止させ、トーチ高さをワーク端部とほぼ同じ高さにする方式である。この方法を使用することによりトーチとセンサの高さをその都度合わせなくともワークの端部からの追従を可能にする。

回路構成を図-5.18に示し、動作例を以下に説明する。

- ・コントローラは、制御範囲内でクリアランスに比例した電圧を出力している。
- ・コントローラのインタロック入力 $I$ が、OPENのときセンサドライバは動作し、0Vのときセンサドライバは停止する。
- ・コンパレータは、クリアランス出力 $V_c$ と設定電圧 $V_T$ を比較し、 $V_c > V_T$ のとき0Vを出力し、 $V_c \leq V_T$ のときOPEN状態を出力する。
- ・ロボットでトーチを①から、センサ制御範囲内の位置にある②に近づける。  
このとき、コンパレータ出力は、設定電圧 $V_T$ よりクリアランス電圧 $V_c$ が小さいためOPENになり、コントローラはセンサドライバを動作させ、スタンドオフ一定制御をおこなう。
- ・次にトーチをワーク外側の位置にある④まで移動させる。  
このときトーチがワーク端部の③の外側までくると、そこにはワークが無いので、クリアランス出力電圧 $V_c$ は、急激に増加し、クリアランス出力電圧 $V_c$ が設定電圧 $V_T$ より大きくなるとすぐにセンサドライバを停止させる。
- ・したがって、ワーク端部の③から④までは、トーチの制御は停止し、トーチの高さはワーク端部と同じぐらいの高さになっている。
- ・この位置から、トーチをワーク内側の⑤に移動させると、トーチがワーク端部の③を過ぎてクリアランス出力電圧 $V_c$ が設定電圧 $V_T$ より小さくなったときに、センサドライバの制御停止が解除され、制御動作を開始し、スタンドオフ一定の制御をおこなうことが可能になる。

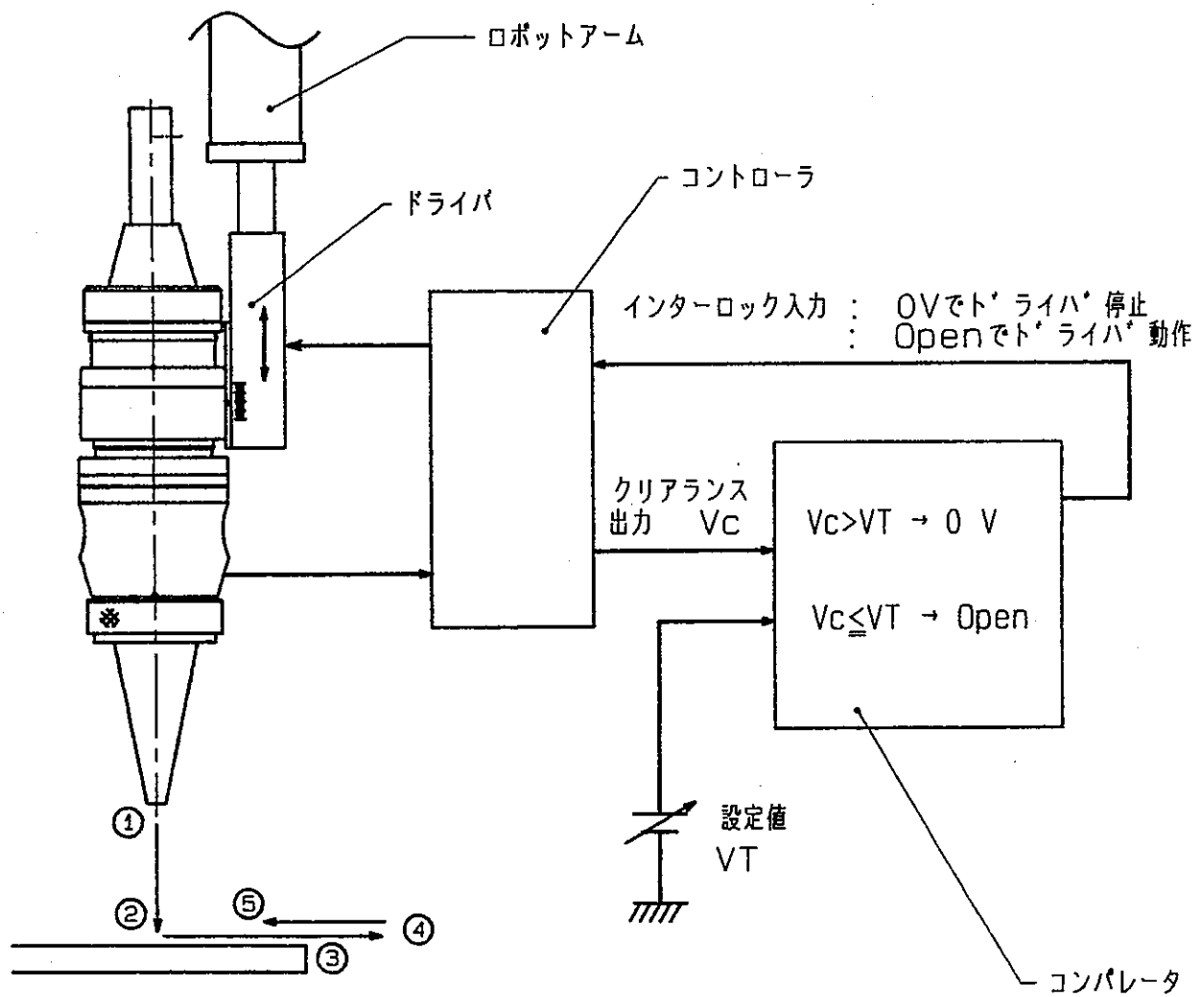


図-5.18 端部検出回路構成図

## (2) 模擬試験体および実ハル缶の制御性の確認

段差追従試験結果から得られたハル缶切断に必要なセンシングシステムのセンサ電極 # 2 とスタンドオフ設定値 2mm を共通条件にして、模擬試験体と実ハル缶での制御性試験および追従性試験をおこなった。

### (i) 湾曲模擬試験体の追従性

試験方法は、トーチを把持させたロボットを水平に動作させて、試験体の両端からの追従試験をおこなった。ただし、ワークの高さが30mmであり、トーチ可動範囲は、±15mmと同じであるので移動開始点のトーチ位置を最下降点に移動させて試験をおこなった。図-5.19にトーチ移動方向を示す。試験条件は、移動速度 100~800mm/min の範囲で試験をおこなった。試験結果を表-5.13に示す。

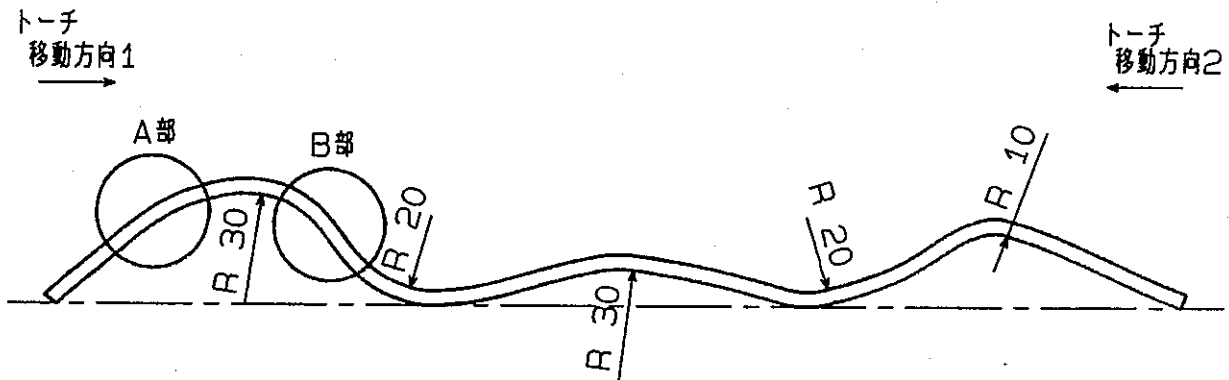


図-5.19 トーチの移動方向 (湾曲模擬試験体)

以下の追従試験結果が得られた。

- ①移動方向1では、移動速度800mm/minで、図のA部でトーチがワークに接触し、追従可能速度は700mm/minまでであった。
- ②移動方向2では、移動速度500mm/minで、図のB部でトーチがワークに接触し、追従可能速度は400mm/minまでであった。

これらの接触箇所A部およびB部では、ワークの湾曲面の接線方向の傾斜角度が、A部では約40°、B部では約50°であった。この追従速度は、傾斜試験体の追従性試験(図-5.16)で得られた最大追従速度、傾斜角度40°のとき700mm/min、傾斜角度50°のとき500mm/minの結果とほぼ一致した。

したがって、湾曲部では、ワークの傾斜角度に対する最大追従速度を考慮しなければならぬことが明らかになった。

表-5.13 湾曲模擬試験体の追従試験結果

トーチ 移動方向	移動速度(mm/min)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
方向1	○	○	○	○	○	○	○	×
方向2	○	○	○	○	×	×	×	×

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

(ii) 脚受け板模擬試験体の追従性

追従性の試験は、トーチを把持させたロボットを模擬試験体の平坦面に垂直な姿勢で、水平に移動させておこなった。トーチの移動方向は、曲面R20の端部から平坦面に向かう方向とその反対方向からの両方向でおこなった。また、両方向ともに平坦面の水抜き穴を模擬したφ10の穴の上を移動させておこなった。ただし、曲面端部からのトーチ移動開始点の高さは、端部検出回路で曲面の下端とほぼ同じ高さとした。

図-5.20にトーチの移動方向を示す。

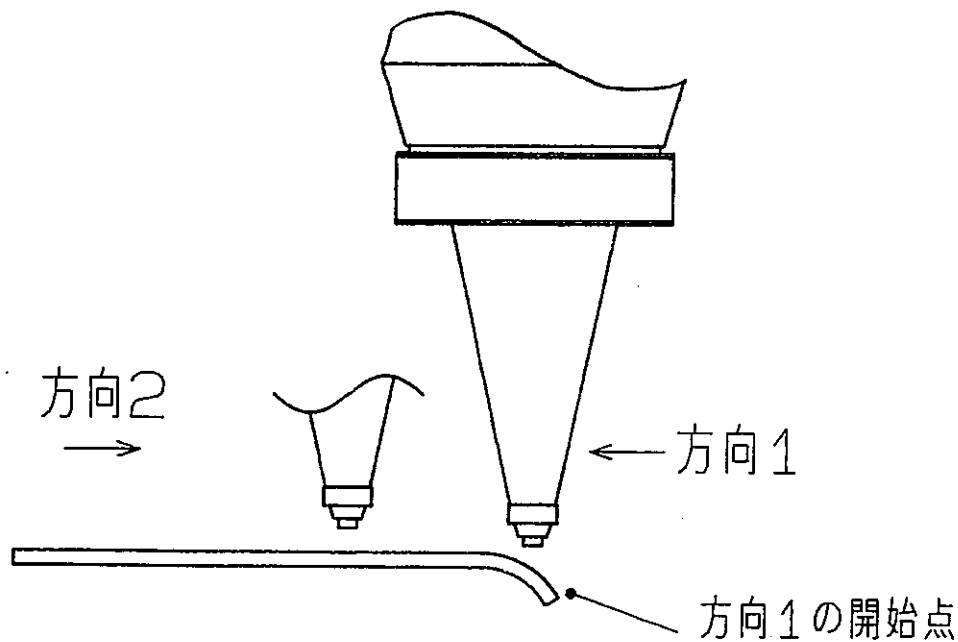


図-5.20 トーチの移動方向 (脚受け板模擬試験体)

試験条件は、板厚 4mmの最大切断速度までとして、移動速度 100~800mm/min の範囲でおこなった。

試験結果を表-5.14に示す。ただし、この表にはφ10の穴の追従試験結果は含んでいない。

以下の追従試験結果が得られた。

①曲面端部から平坦面への最大追従速度は、500mm/min であった。600mm/min 以上では、曲面で接触することがわかった。

②φ10の穴では、試験した最大の移動速度800mm/min で追従可能であった。

図-5.21に方向1の追従速度 200, 400mm/min の場合のセンサシステムの変位出力データを示す。このデータから、トーチは、追従速度の異なる場合においてもほぼ同じ軌跡上を曲面に沿って追従していることがわかる。また、平坦面のφ10の穴の箇所では、トーチは穴の中に深く入り込まず、わずかに約 2mm下がるだけで追従した。

表-5.14 脚受け板模擬試験体の追従試験結果

トーチ 移動方向	移動速度(mm/min)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
方向1 曲面⇒平坦面	○	○	○	○	○	×	×	×
方向2 平坦面⇒曲面	○	○	○	○	○	○	○	○

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

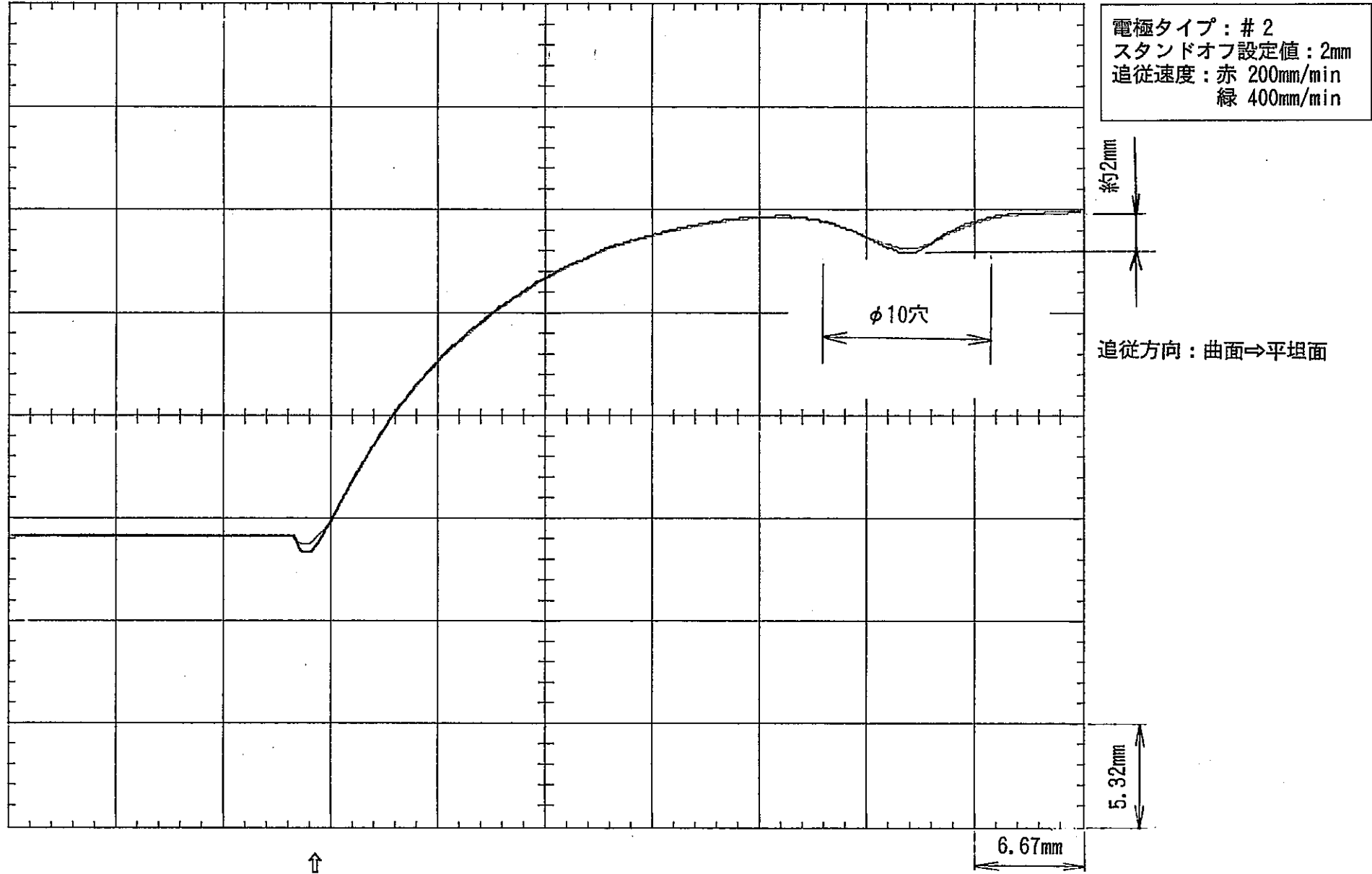


図-5.21 脚受け板模擬試験体のセンシングデータ

### (iii) 底板模擬試験体の追従性

試験は、トーチを把持させたロボットを模擬試験体の平坦面に対して平行に移動させておこなった。トーチの移動は、傾斜端部から平坦面へとその反対方向からの両方向での試験とした。ただし、傾斜端部の移動開始は、傾斜部の下端と同じ高さからおこなった。

図-5.22にトーチ移動方向を示す。

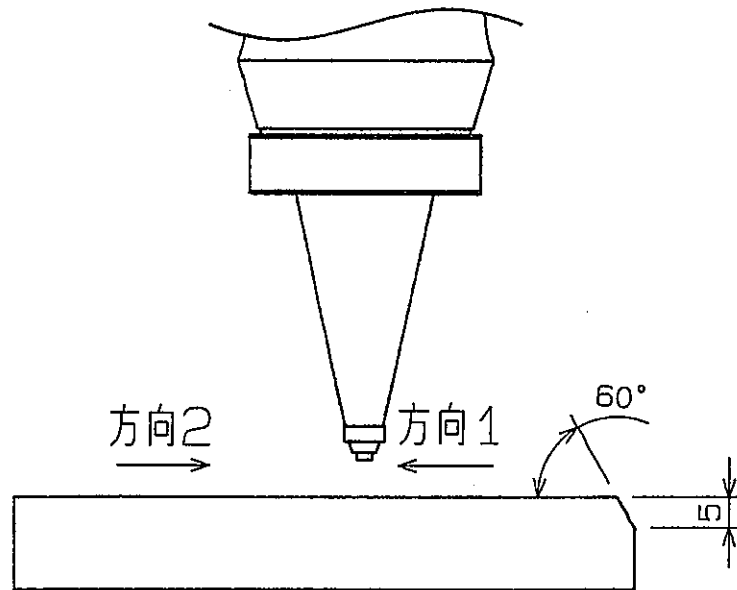


図-5.22 トーチの移動方向（底板模擬試験体）

試験条件は、移動速度 100～800mm/min の範囲とした。試験結果を表-5.15に示す。

以下の追従試験結果が得られた。

- ①傾斜端部から平坦面への方向では、移動速度 400mm/min以上のとき、傾斜端部で衝突し、最大追従速度は、300mm/min であった。
- ②この速度は、基本特性試験のワーク傾斜角度60° の最大追従速度300mm/min と同一であった。また、昨年度のハル缶の底板の切断速度 130mm/minに対して、十分に速い追従速度であった。

図-5.23に曲面から平坦面へ速度80, 200, 400mm/min で追従した場合のセンサシステムの変位出力データを示す。このデータから、追従速度の異なる場合においても、トーチはほぼ同じ軌跡上を追従していることがわかる。

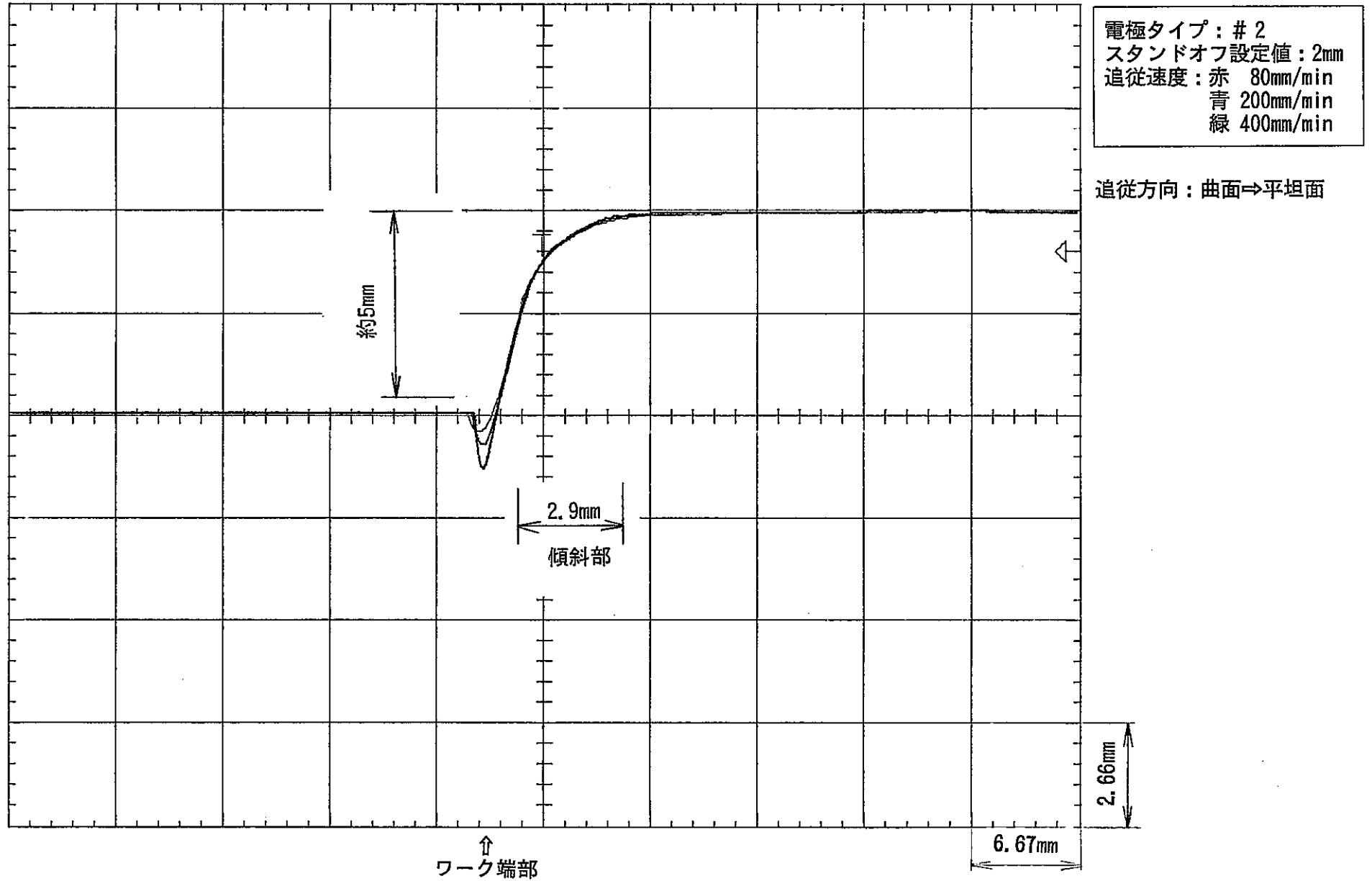


図-5.23 底板模擬試験体センシングデータ



表-5.15 底板模擬試験体の追従試験結果

トーチ 移動方向	移動速度(mm/min)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
方向1 傾斜端部⇒平坦面	○	○	○	×	×	×	×	×
方向2 平坦面⇒傾斜端部	○	○	○	○	○	○	○	○

〔○：追従可能，×：追従不可能〕

(iv) 蓋補強部模擬試験体の追従性

蓋を表面側から切断するためには、蓋裏側に溶接されている補強板の残渣が低いことが必要である。したがって、補強部の切断は、補強板のできるだけ蓋に近い箇所を切断することが重要となる。しかし、補強部の狭窄部にトーチを傾斜させて切断するため、および高さ 4mmの溶接部の影響を受けるため、他の部位とは異なり、わずかのワーク位置決め誤差によっては、トーチの位置とワークの位置関係が大きく変化すると考えられる。そこで、ワークの位置決めがずれた場合を想定した試験として、模擬試験体が水平および垂直にずれた位置変位試験と、模擬試験体が回転してずれた角度変位試験をおこない、トーチ先端位置と補強部の位置関係を試験した。

(a) トーチの基準位置

位置変位試験、および角度変位試験において、トーチ先端位置と補強部との位置関係の変化を明らかにするために、トーチ先端位置を座標で表し、補強板との距離をX軸、蓋との距離をY軸とおき、蓋と補強板の交点を座標の原点(0, 0)とする。

補強板に対するトーチの傾斜角度は、傾斜させたときにトーチの側面がワークに接触しない角度30°にした。図-5.24にトーチと補強部の位置関係を示す。

トーチの基準位置は、スタンドオフ設定値 2mmで制御しているときのトーチ中心の延長線上に溶接部の上端があるように設置し、そこを基準位置 ( $X_0, Y_0$ ) とした。この基準位置の座標は、 $X_0=2.7$ ,  $Y_0=5.6$  である。これはトーチ先端が、補強板から横に 2.7mm、蓋表面から上に 5.6mmにあることを示す。

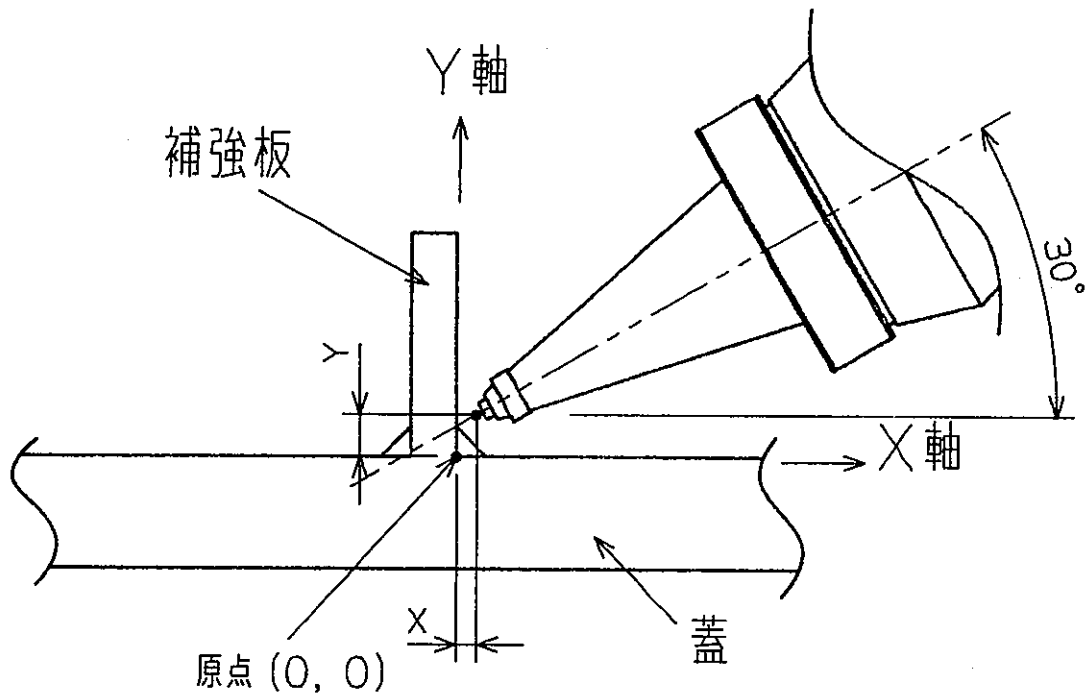


図-5.24 トーチと補強部の位置関係

(b) 位置変位試験

前項で定義したトーチ位置を基準にして、試験体の位置を水平方向に $-5\text{mm} \sim +5\text{mm}$ 、垂直方向に $-5\text{mm} \sim +4\text{mm}$ の範囲で $1\text{mm}$ 単位で移動させ、そのときトーチがセンシング制御したときのトーチ先端の移動位置を測定した。試験体をトーチに近づける方向をマイナス、遠ざける方向をプラスとした。

この測定結果を水平方向の移動量を固定し、垂直方向の移動量をパラメータにして補強部に対するトーチ先端の位置を図-5.25～図-5.35にプロットして示す。プロットした点から $-30^\circ$ の方向に外挿した直線とY軸との交点が補強板の切断箇所に対応する。

この結果から、以下のことが得られた。

- ①それぞれの図を比較すると、ワークを水平、垂直に移動させたときのトーチ先端の位置が、共通の曲線上にあることがわかった。したがって、水平および垂直方向の移動位置の組み合わせによっては、ほぼ同じ位置が存在する。
- ②たとえば、図-5.25の水平方向の移動量 $0\text{mm}$ で垂直方向 $-2\text{mm}$ の場合と図-5.26の水平方向の移動量 $-5\text{mm}$ で垂直方向 $-5\text{mm}$ の場合、および図-5.35の水平方向の移動量 $+5\text{mm}$ で垂直方向 $+1\text{mm}$ の場合では、トーチ先端位置はほぼ同じ位置にある。

この試験で、位置変位した時のトーチと試験体の位置関係の把握ができたが、補強板の切断が可能なトーチ先端位置は、実際に切断実験をしなければ確認できない。また、実際に補強板が切断できても、切断後の補強板の残渣が高い場合には、蓋の表側からの切断ができないこともあると考えられるので、実際に蓋の表側からの切断可能な残差高さを調査しなければならない。その試験結果については、5.3の切断状況の確認の項で述べる。

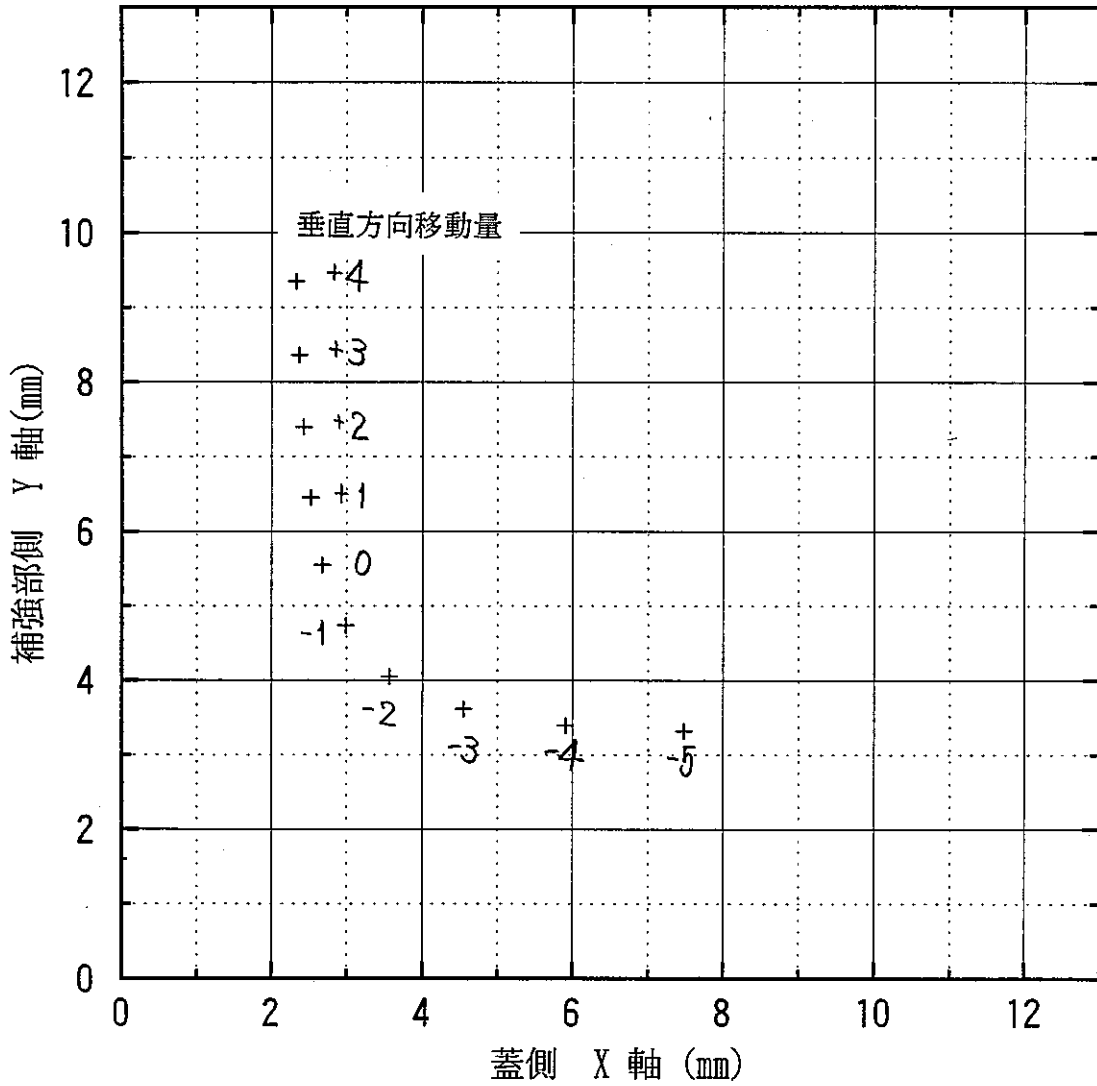
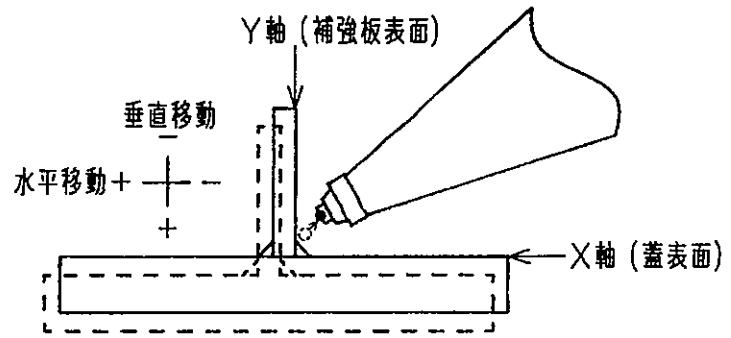


図-5.25 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 0mm)

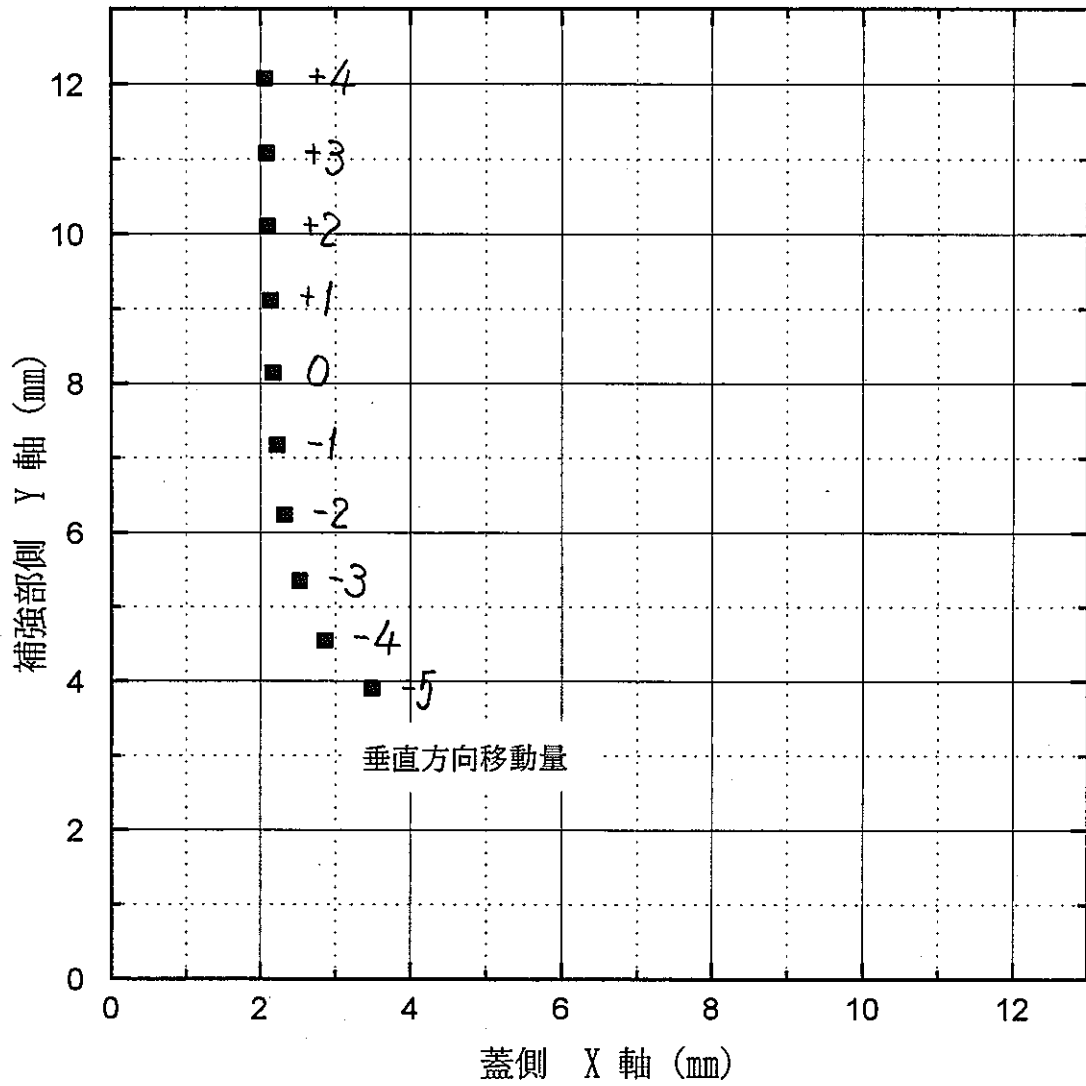


図-5.26 センサ先端と補強部との位置関係  
(水平方向移動量 -5mm)

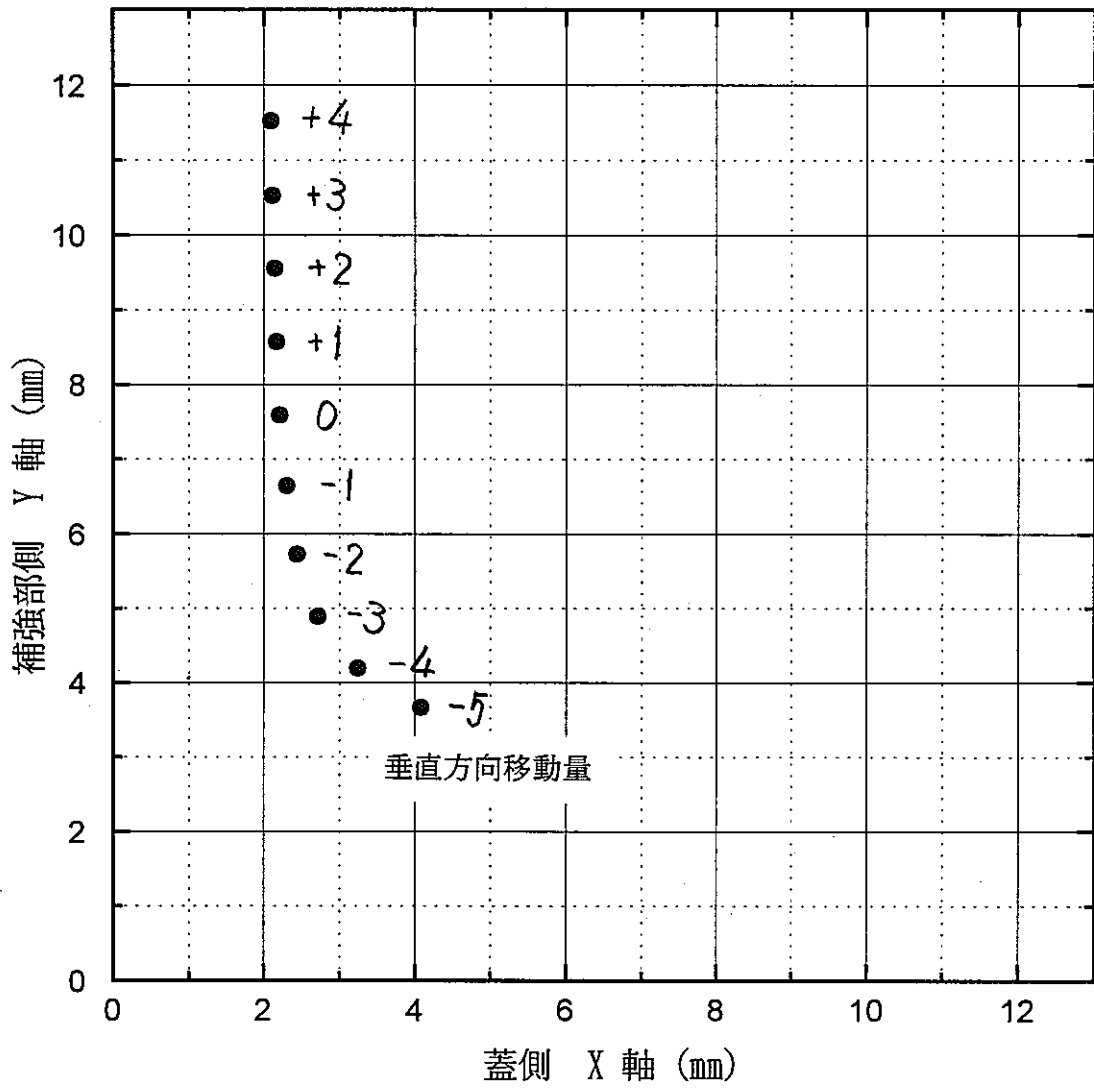


図-5.27 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 -4mm)

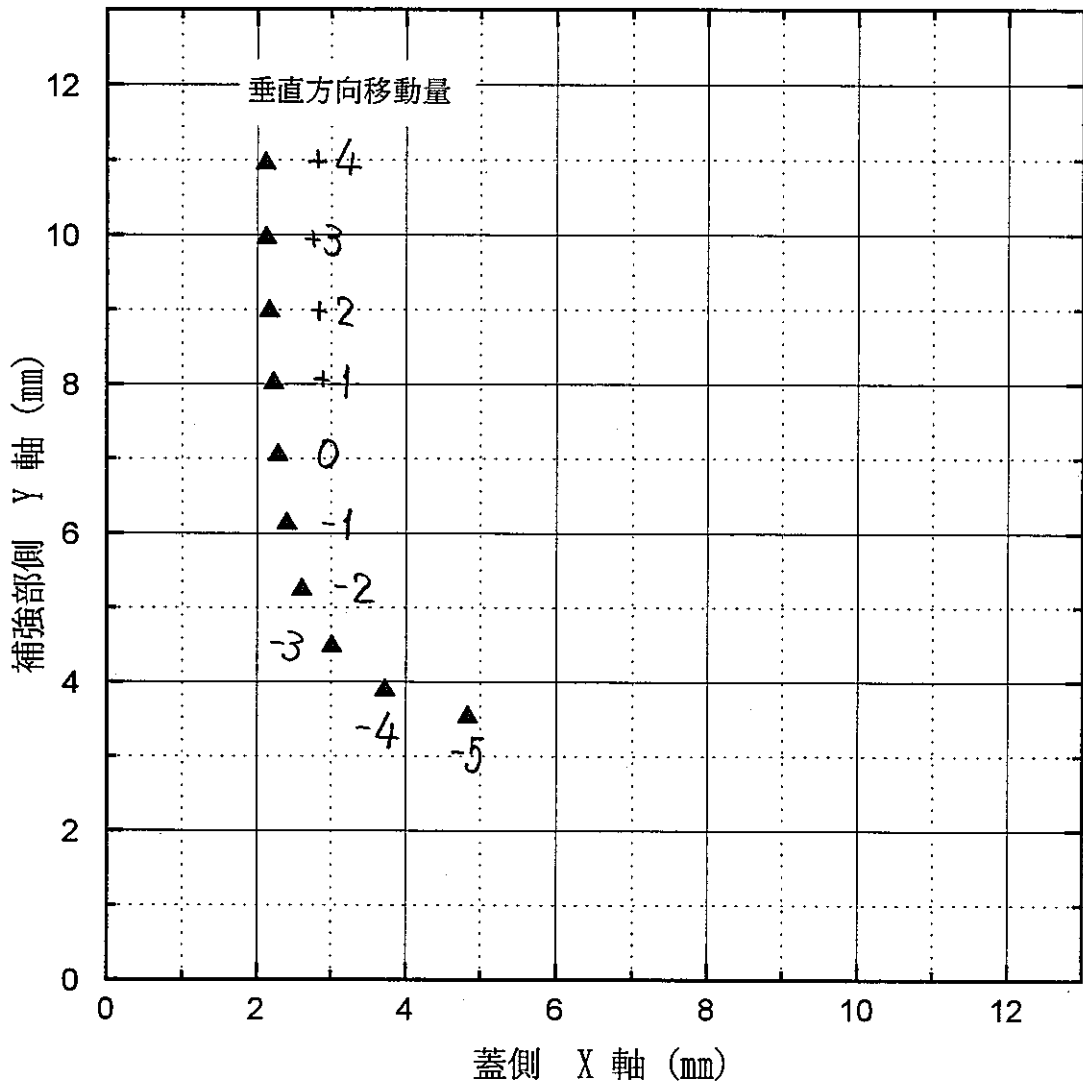


図-5.28 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 -3mm)

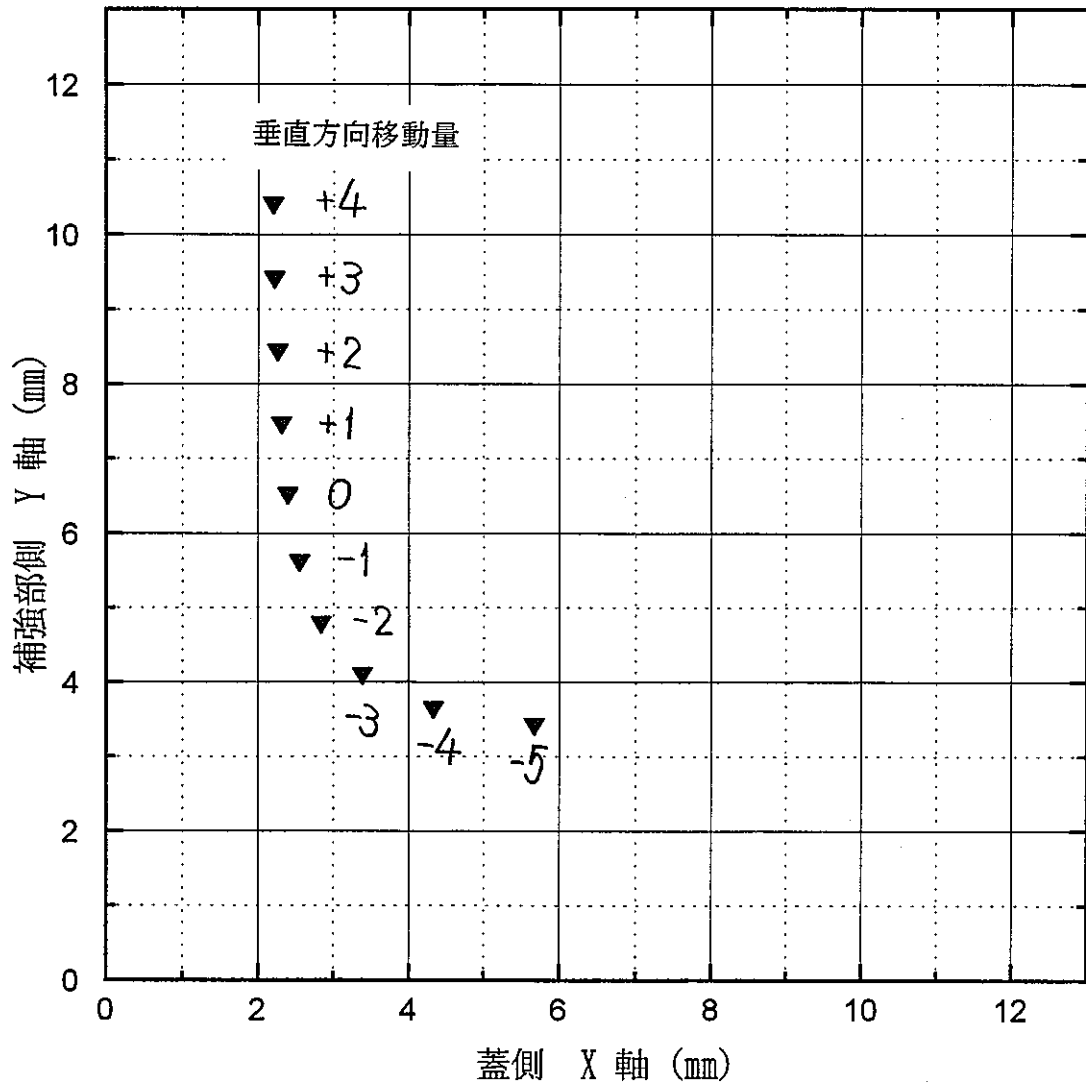


図-5.29 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 -2mm)



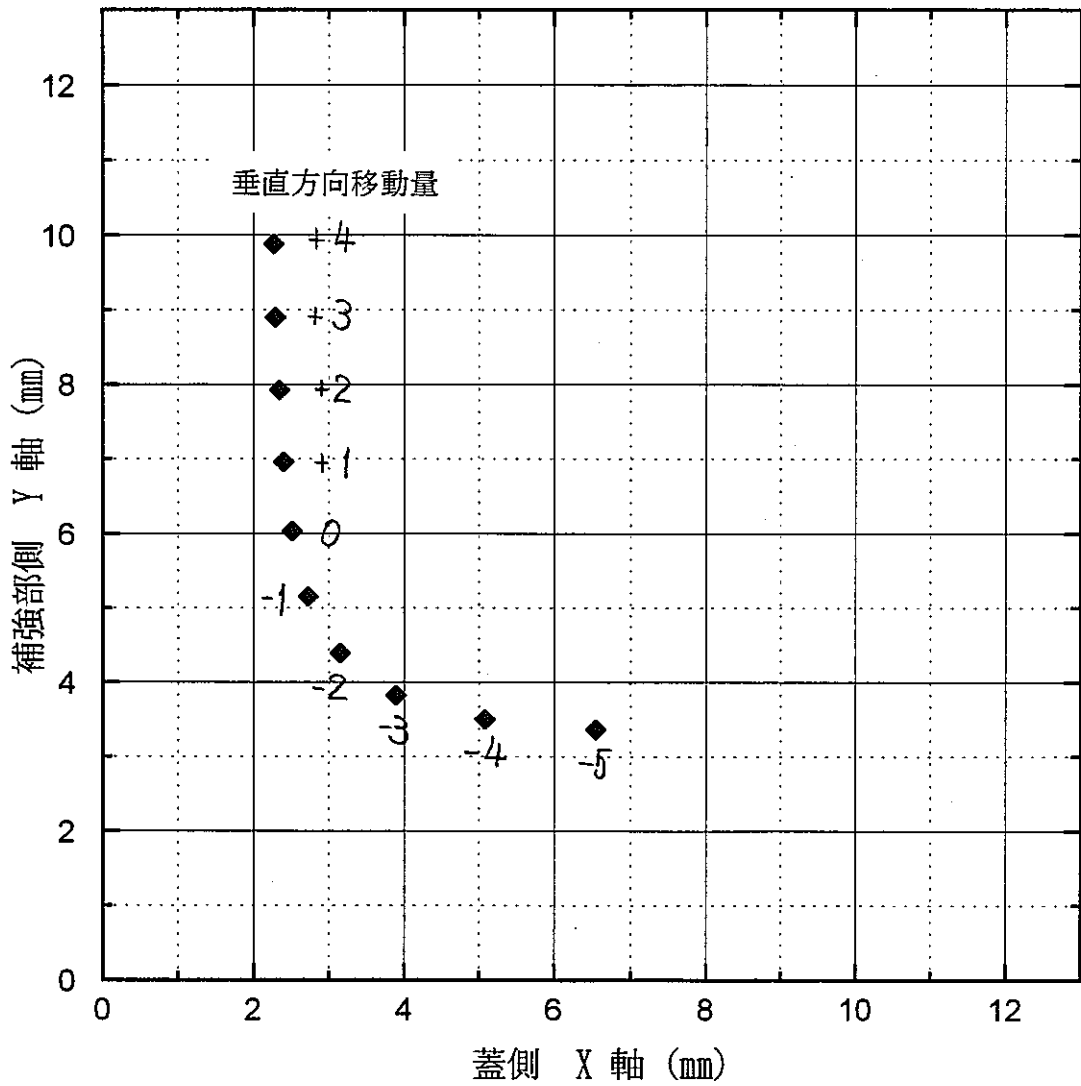


図-5.30 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 -1mm)

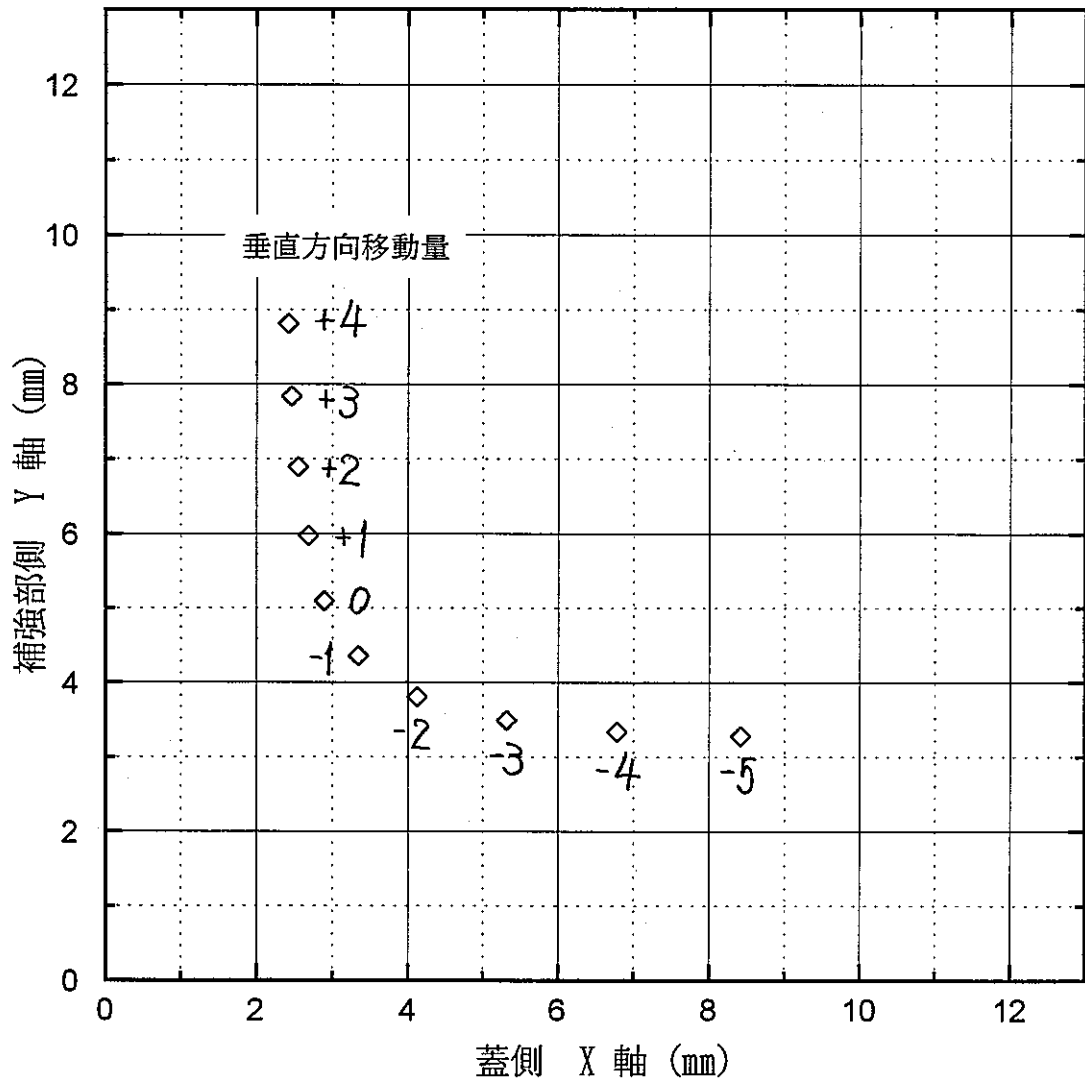


図-5.31 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 +1mm)

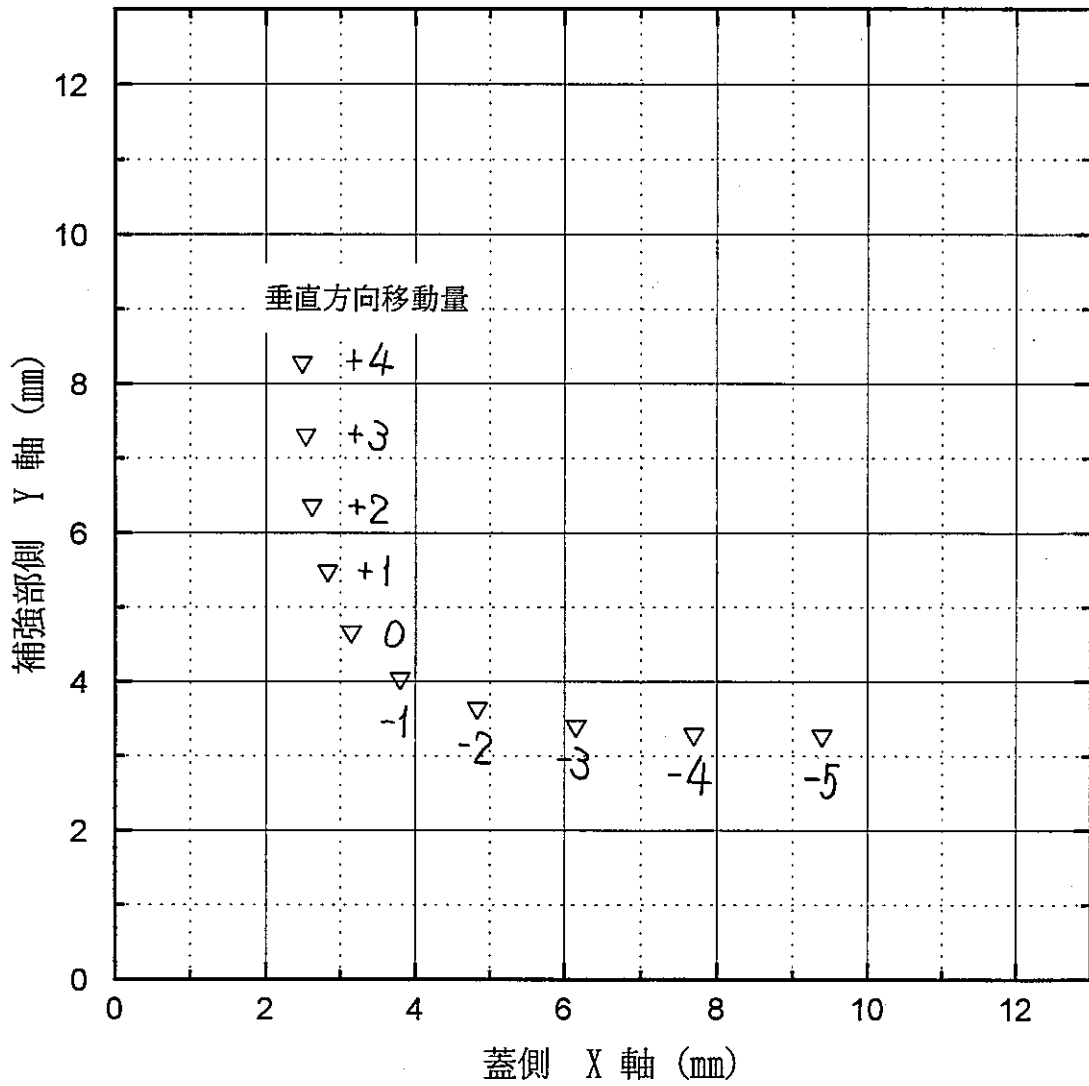


図-5.32 センサ先端と補強部との位置関係  
(水平方向移動量 +2mm)

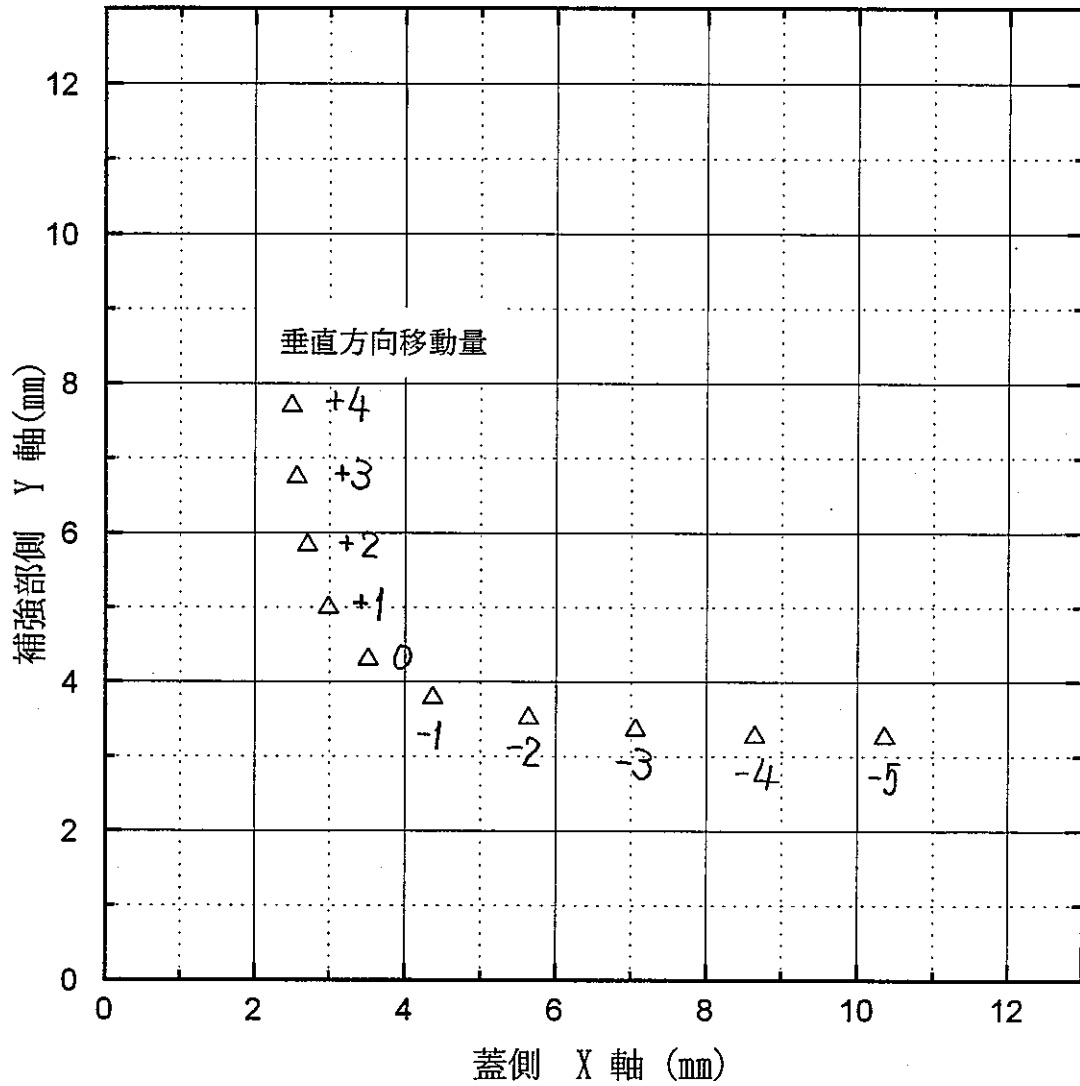


図-5.33 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 +3mm)

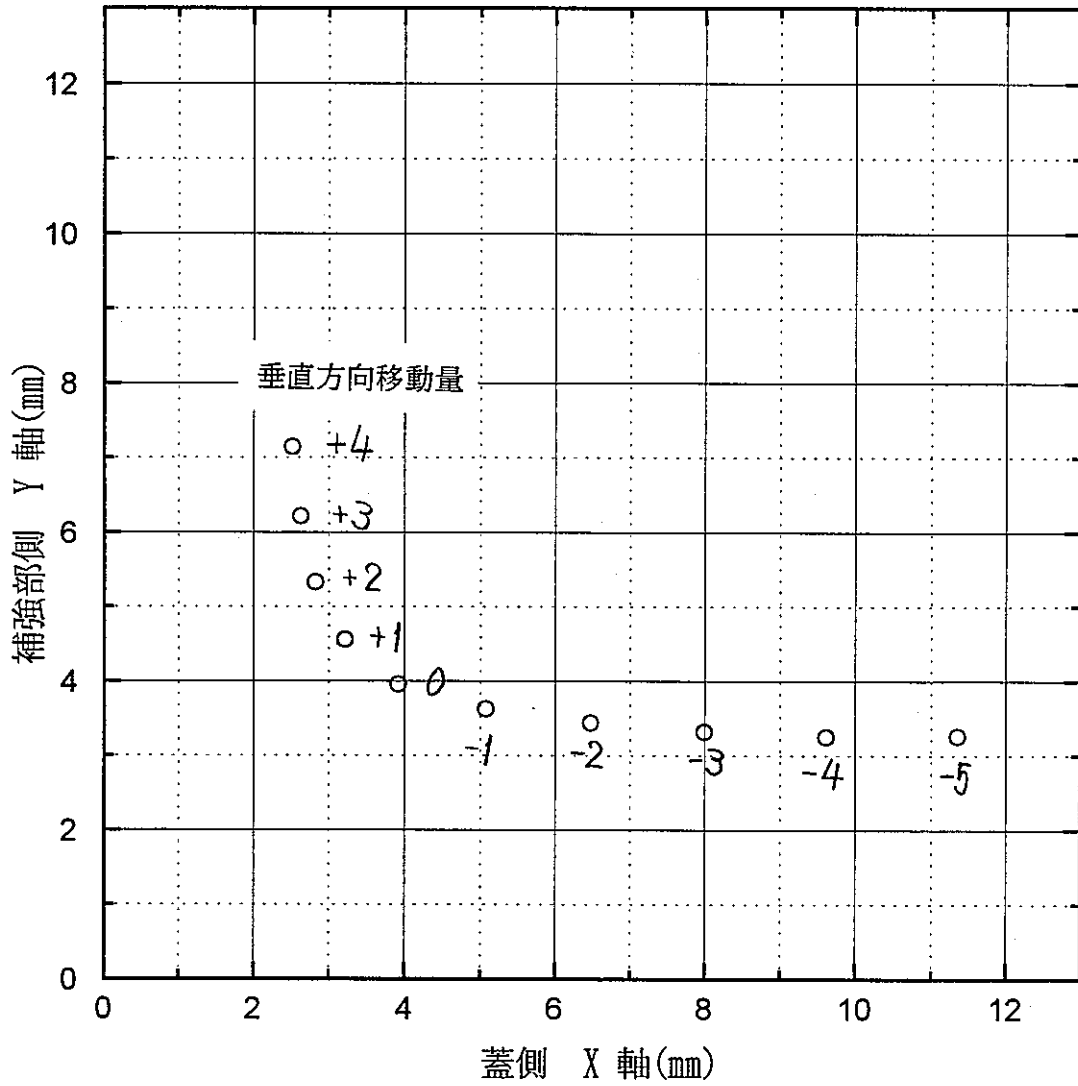


図-5.34 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 +4mm)

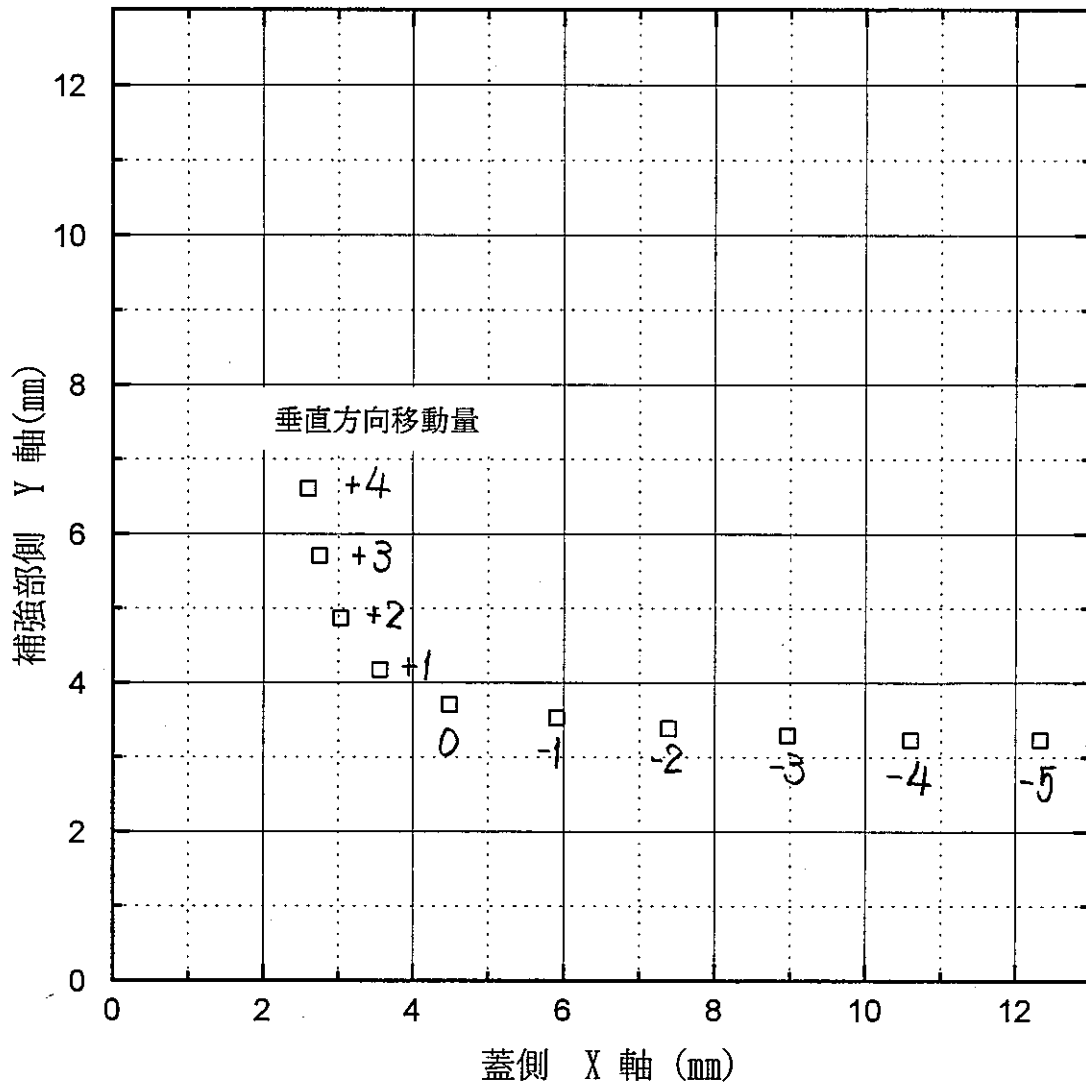


図-5.35 センサ先端と補強部との位置関係

(水平方向移動量 +5mm)

(c) 角度変位試験

実ハル缶の蓋補強板を切断する場合に蓋の位置が、蓋の中心を回転中心として角度 $\theta$ だけ回転して位置決めされたことを考えてみる。

切断する補強板の端では、つぎの距離だけトーチとワークの間隔が変化する。

$$\text{補強板の半径} \times \sin \theta$$

たとえば、角度 $5^\circ$ 回転したとすると、補強板の半径は $345\text{mm}$ であるので、

$$345\text{mm} \times \sin 5^\circ \approx 30\text{mm}$$

これは、ワークがトーチから約 $30\text{mm}$ 離れることになり、この値はセンサの制御範囲 $\pm 15\text{mm}$ を大きく超えてしまう。

したがって、この角度変位試験は、ワークのトーチに対向する点を回転中心にした角度変位試験をおこなった。また、本試験では、位置変位試験と同様にトーチ位置を座標で表し、トーチの基準位置も、前項と同一位置として試験をおこなった。試験構成を図-5.36に示す。

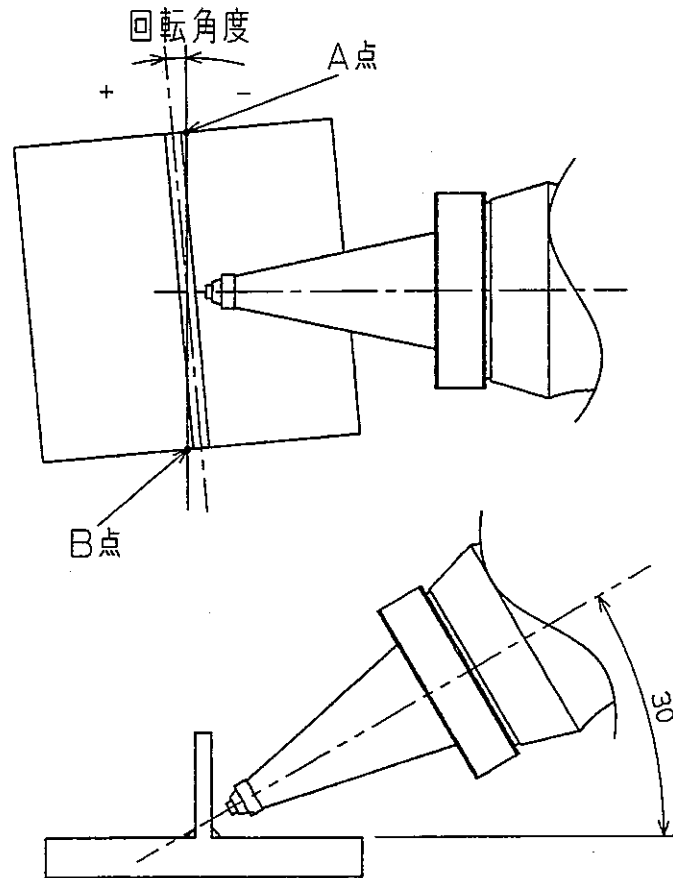


図-5.36 角度変位試験構成図

試験方法は、トーチを基準位置において120×120mmの試験体の中心で回転させ、トーチを試験体の端から端まで移動させて追従試験をおこなった。

回転角度は、 $0^\circ$ 、 $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ の条件とし、移動速度300mm/minでおこなった。

その結果、以下が得られた。

- ①各回転角度条件で試験体に接触することなく追従を確認することができた。
- ②回転角度が大きいほうが、トーチの位置は、大きく変化することがわかった。
- ③回転中心からトーチがワークが離れる方向では、トーチは補強板から離れ、反対に回転中心からトーチがワークに近づく方向ではトーチは補強板の上端に向かって動作することがわかった。

回転角度 $+10^\circ$ 、 $+5^\circ$ の条件で図-5.36のA点からB点の方向まで移動させたときのセンサドライバの変位出力データをそれぞれ図-5.37、図-5.38に示す。

トーチは、補強板に対して $30^\circ$ 傾斜した角度にあるため、これらの図のセンサ基準点との差の $\cos 30^\circ$ の値が、トーチのX軸方向に変位した量に相当し、 $\sin 30^\circ$ の値がトーチのY軸方向に変位した量に相当する。図-5.37と図-5.38からこれらの値を計算し、回転中心からA点、およびB点方向に10mmずつ移動したときの、トーチ先端の位置を前項の位置変位試験と同様に、蓋と補強板の交点を座標の原点(0, 0)としてプロットしたものを図-5.39に示す。図のX軸は、補強板との距離に相当し、Y軸は、蓋との距離に相当する。

図-5.39からつぎのことが得られた。

- ①前項の位置変位試験でワークを水平、垂直に移動させたときのトーチ先端の曲線と同じであった。
- ②回転角 $+5^\circ$ と回転角 $+10^\circ$ のトーチ変位量は、回転角 $+5^\circ$ の回転中心からの移動距離が、回転角 $+10^\circ$ の移動距離の2倍にあるとき同等になることがわかった。

また、試験体をマイナス方向に回転させたときのドライバの変位出力データを図-5.40、図-5.41に示す。これらのマイナス方向に回転させたときのドライバの変位出力データは、プラス方向に回転させた場合と回転中心を軸にしてほぼ対称であった。

したがって、プラスおよびマイナス回転した場合ともにトーチと補強部の位置関係は、対称であると考えられる。



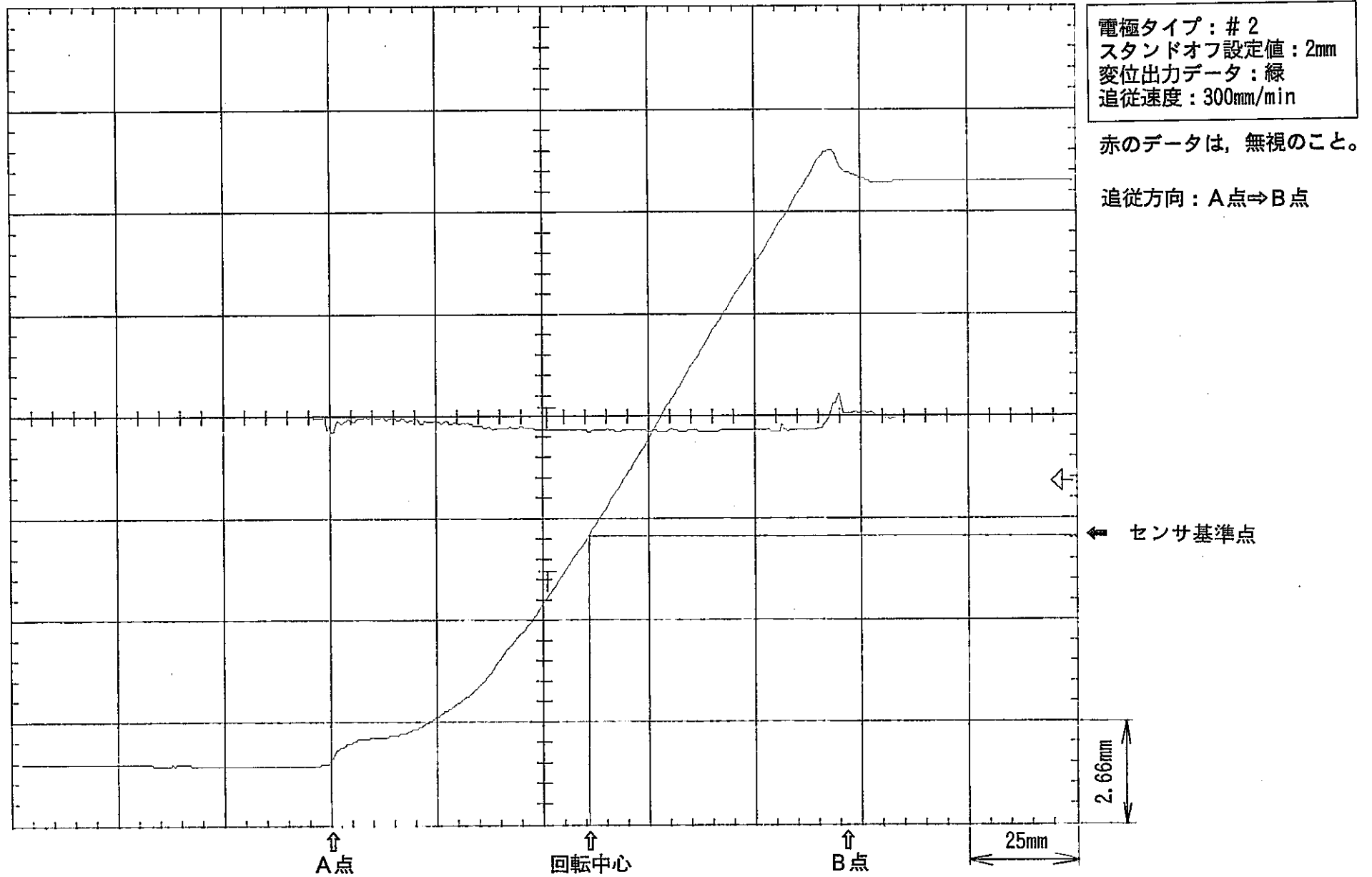


図-5.37 角度変位ワークのセンシングデータ (+10°)



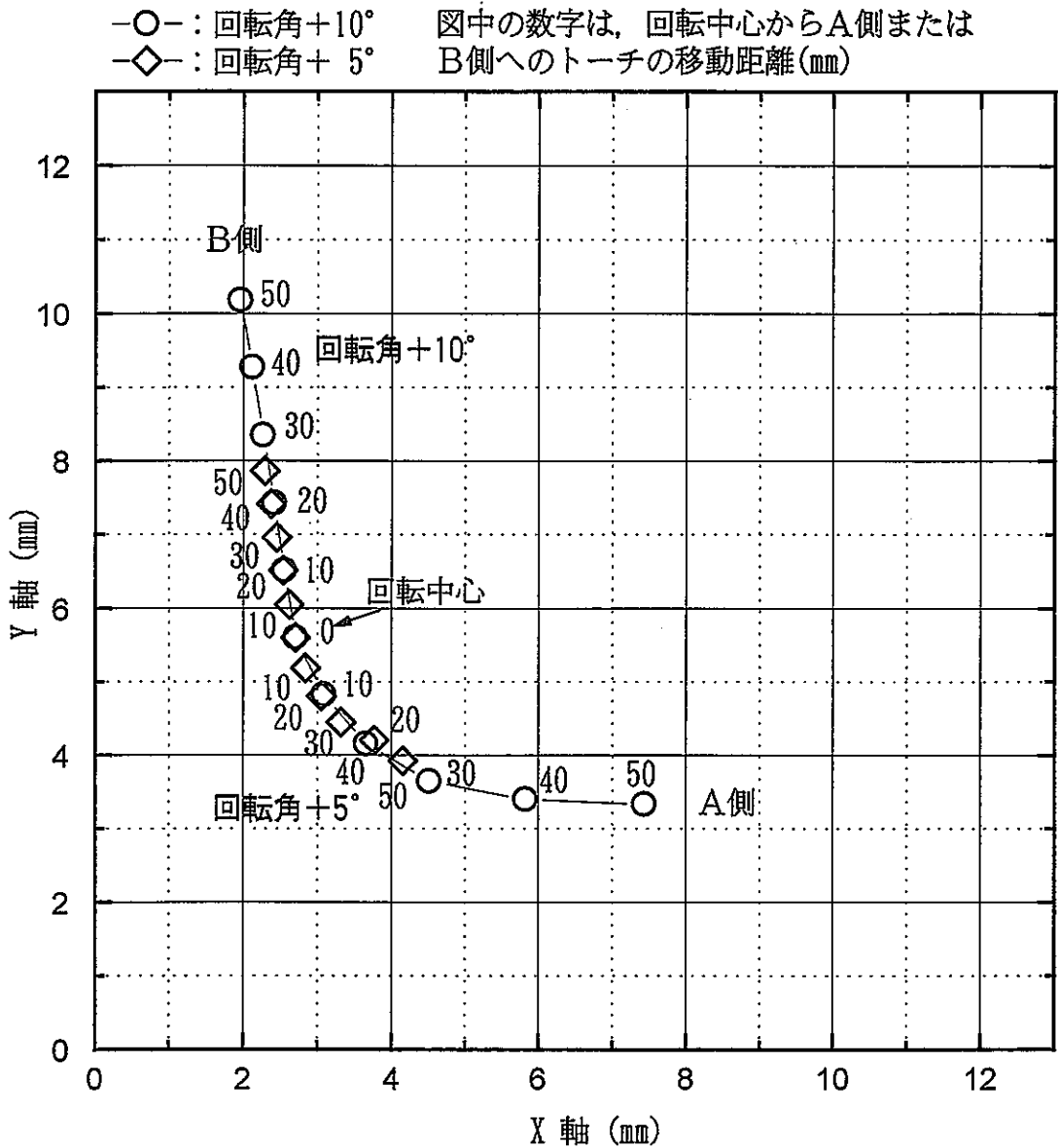


図-5.39 センサ先端と補強部との位置関係

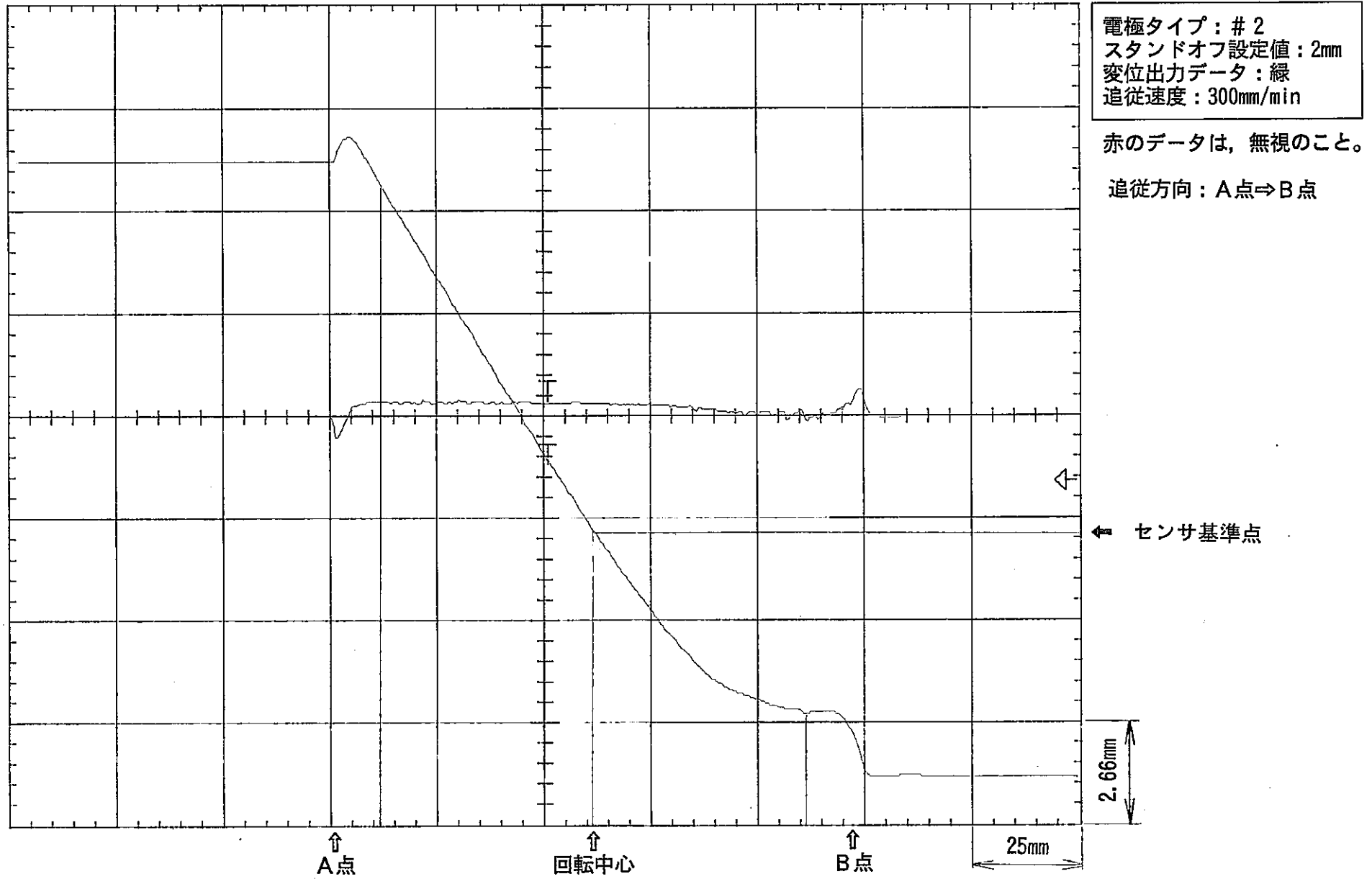


図-5.40 角度変位ワークのセンシングデータ (-10°)

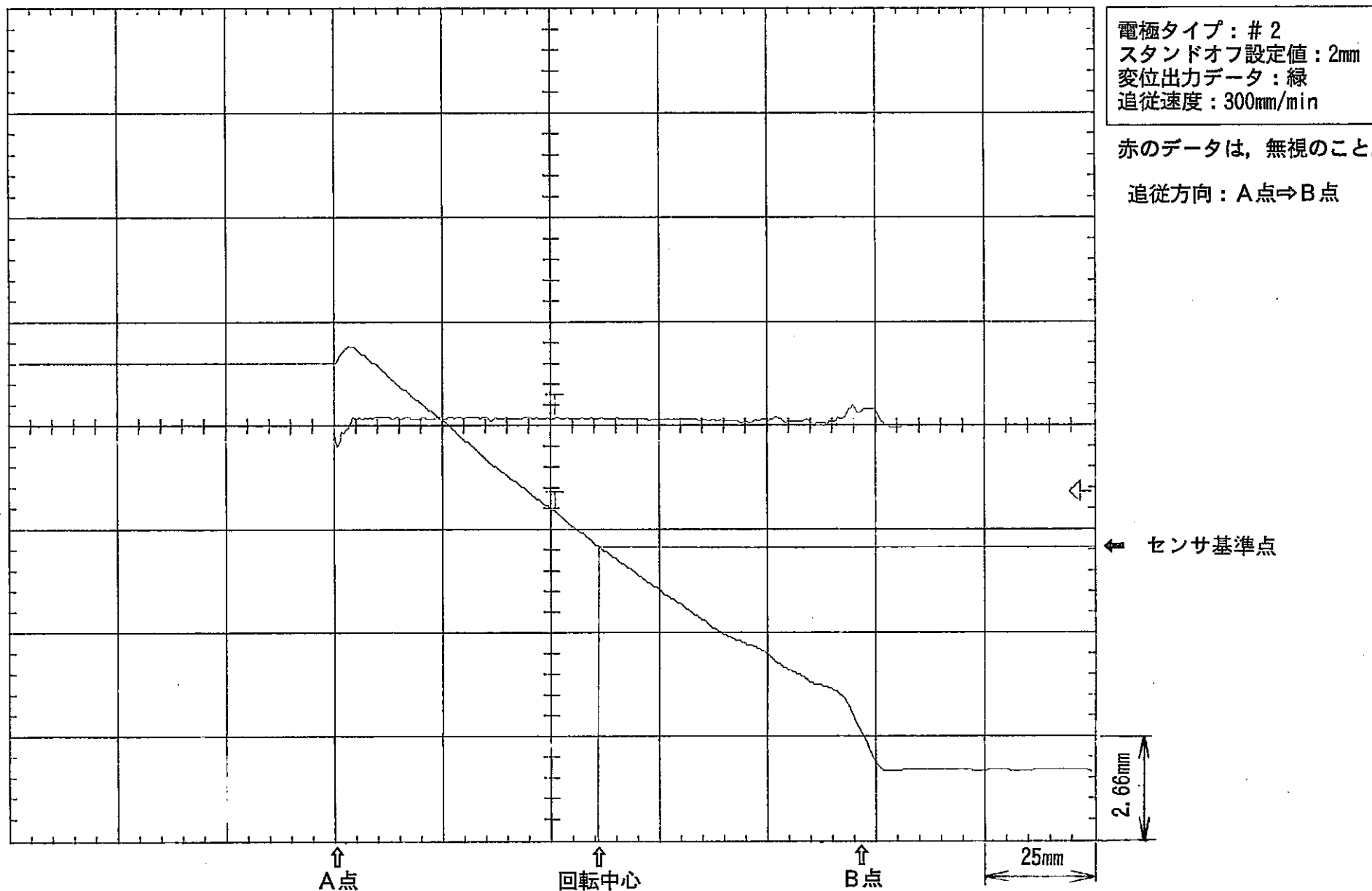


図-5.41 角度変位ワークのセンシングデータ (-5°)

(v) 実ハル缶の蓋補強部追従性

実ハル缶の蓋補強部の追従性について、トーチ位置関係を、前項で定義した基準位置として試験をおこなった。

トーチをロボットに把持させて試験をおこなった。実ハル缶の切断速度に近い移動速度の 300mm/minで移動させ、蓋補強板の外側から内側に約50mmの長さにわたってロボットを水平に移動して、そこから斜め上方に移動させた。

その結果、トーチは、ワークに接触することなく、追従可能であることがわかった。

(vi) 締め付けリング模擬試験体の追従性

試験は、トーチを把持したロボットを、模擬試験体の平坦面に対して垂直な姿勢で段差側からネジ穴方向に移動させておこなった。

移動速度は、前年度の切断条件と同一の 130mm/minとし、水平方向に移動させた。

試験の結果、段差部は追従可能であったが、ネジ穴部を移動するときに、トーチがネジ穴の中に下り過ぎてしまい、ネジ穴から上る際に衝突し、追従不可能であった。

図-5.42にトーチが、ネジ穴を通過した場合のセンサシステムの変位出力データを示す。この図からもトーチがネジ穴から上がる際に、トーチが接触し変位出力が乱れていることがわかる。これに対して、ネジ穴を避けて追従させた場合には、問題無く追従可能であった。

したがって、締め付けリングを切断するためには、トーチの位置決め精度は厳しくなるが、ネジ穴を避けた切断ルートにすることで、追従が可能であると考えられる。

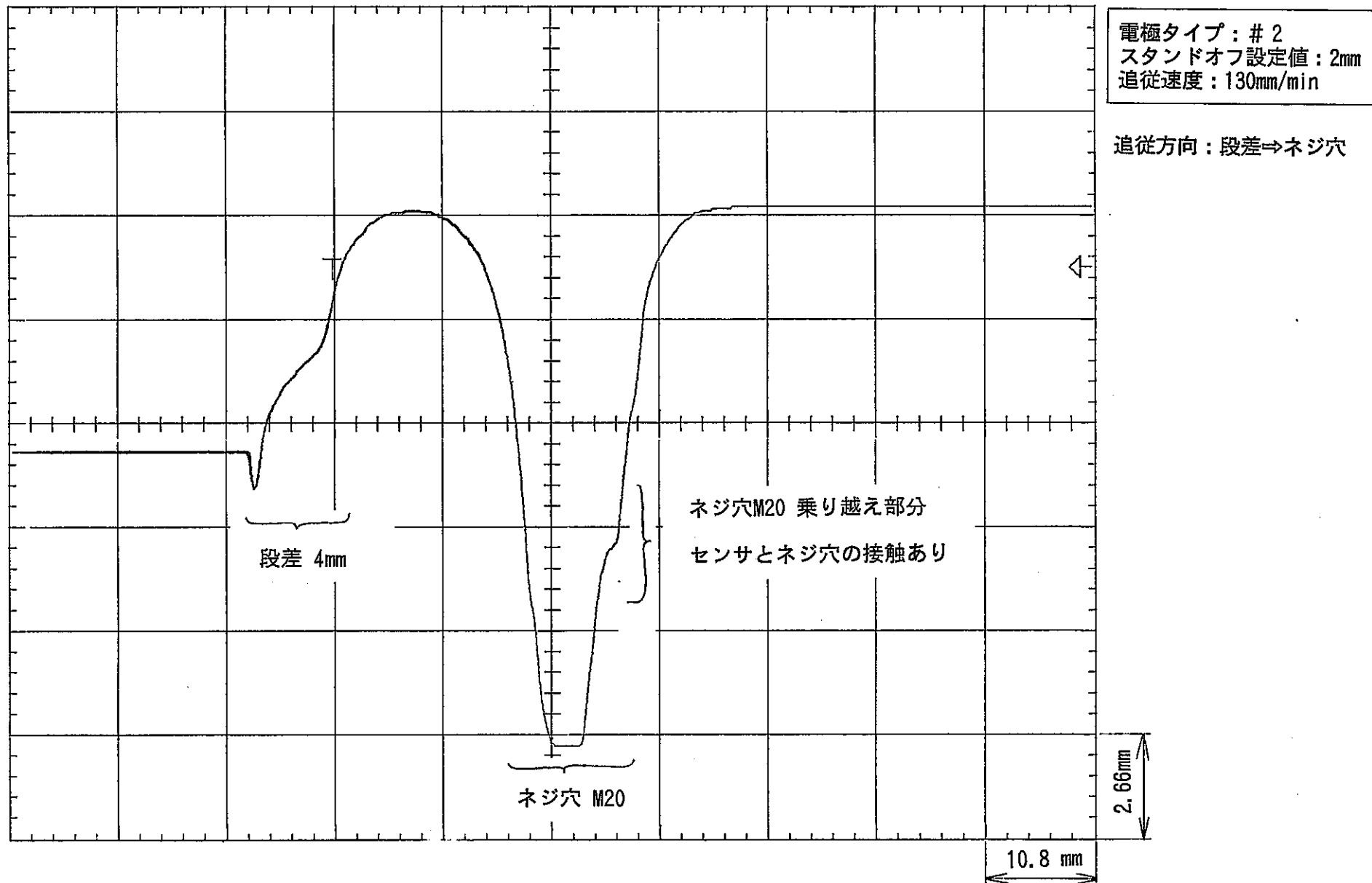


図-5.42 締め付けリング模擬試験体のセンシングデータ

(vii) 実ハル缶の締め付けリング追従性

試験方法は、実ハル缶の蓋を使用し、トーチを把持させたロボットでおこなった。トーチは、締め付けリングの外側から内側に移動させ、受板の手前でトーチを $30^\circ$ に傾斜させて、追従試験をおこなった。ただし、ネジ部を避けて追従試験をおこなった。試験は、前年度の切断速度と同じ速度  $130\text{mm}/\text{min}$ とした。図-5.44に締め付けリングのセンシングの様子を示す。

試験の結果、接触することなく追従が可能であった。

トーチを傾斜させて、ロボットで受板の側面より内側まで移動させた場合でも、トーチの可動範囲であればトーチは受板に衝突せず上側方向に逃げ、受板の側面上を移動した。

この追従試験により、実ハル缶の締め付けリングの追従が可能であることが、明らかになった。

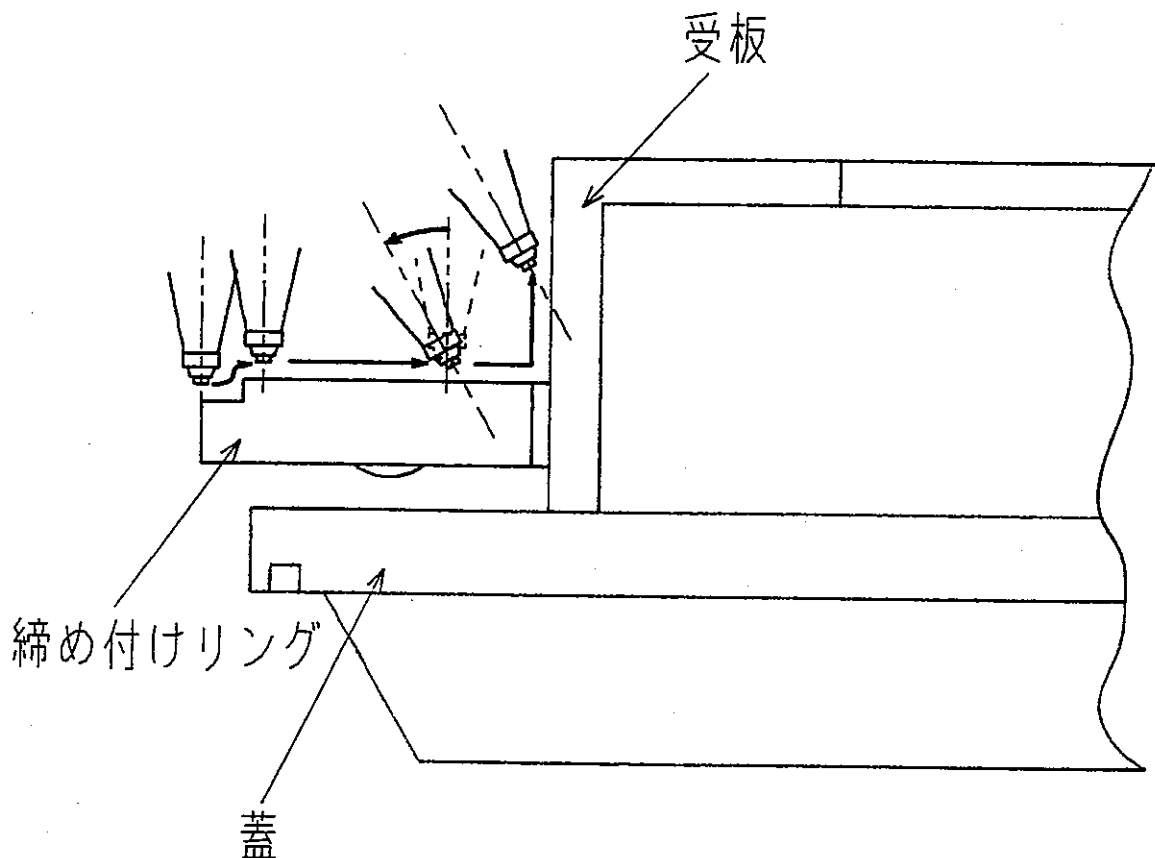


図-5.43 締め付けリングのセンシングの様子



### 5.3 切断状況の確認

トーチの追従性試験から得られた条件に基づき、センシングシステムを使用して模擬試験体、および実ハル缶の切断試験をおこない、ハル缶切断システムへの適用を検討した。

まず、模擬試験体で切断試験をおこない、切断状況を確認した後、その条件で実ハル缶の切断試験をおこなった。ただし、試験体の端部から切断をおこなう場合には、端部検出回路を使用して、切断開始点の高さを端部高さに合わせておこなった。

#### 5.3.1 模擬試験体の切断

センシングシステムは、スタンドオフ設定 2mm、電極タイプ # 2 を共通条件として試験をおこなった。

レーザ運転条件は、平成 6 年度の実ハル缶の切断条件<sup>1)</sup>を基本にしておこなった。また、加工レンズ焦点位置も同じ +3mm とした。

最適切断の基準においても、平成 6 年度の試験<sup>1)</sup>と同じとし、裏面のカーフ幅 4mm 以下、かつ裏面の溝縁部の曲がり量 2mm 以下とした。

##### (1) 段差模擬試験体の切断

ハル缶の締め付けリングを想定した板厚 15mm で段差 4mm の模擬試験体を使用し、段差部の切断の可否を試験した。

切断方向は段差を上る方向とし、切断速度は 80~160mm/min の範囲とした。

レーザ運転条件は、平成 6 年度の締め付けリングの切断条件<sup>1)</sup>と同じとし、ピークパワー 13kW、パルス幅 0.8ms、繰り返し数 200pps とした。切断結果を表 5.16 に示す。

表 5.16 段差模擬試験体の切断可能速度

模擬試験体	切断速度 [mm/min]				
	80	100	120	140	160
段差 4mm	○	○	○	○	△

[ ○ : 切断可能, △ : 分断可能 ]

その結果、切断速度140mm/min までは良好な切断ができたが、切断160mm/min では、裏面カーフ幅が広がった。これは、平成6年度の板厚15mmのスタンドオフ 2mmの条件の切断結果<sup>1)</sup>と同じであった。したがって、締め付けリングの段差 4mmの切断が可能であることが予測できる。

## (2) 湾曲模擬試験体の切断

湾曲模擬試験体を使用して、曲面の切断確認試験をおこなった。

切断方向は、トーチの追従性試験の図-5.19と同じく試験体の両方向とし、トーチの切断開始点は、試験体の端部の高さに合わせた。

レーザ運転条件は、板厚 4mmの切断条件と同じピークパワー 4kW、パルス幅0.8ms、繰り返し数200ppsとした。

トーチの追従性試験で得られた最大追従速度は、移動方向1では、速度700mm/minであったが、前年度のハル缶切断速度 640mm/minを基準に切断試験をおこなった。また、移動方向2からの切断試験の速度は、最大追従速度である 400mm/minでおこなった。

切断試験の結果、移動方向1では、移動速度640mm/min で、トーチの下降方向にあたる図-5.19のB部で一部切断できない箇所があった。また、移動速度500mm/min でもB部の同じ箇所で切断できなかった。さらに移動速度を下げた 400mm/minでは、良好な切断が得られた。

切断方向2では、トーチの追従性試験の最大追従速度 400mm/minで良好な切断が得られた。

このB部が切断できなかった理由として、B部が50° 近く傾斜していることから以下の原因が考えられる。

①傾斜している箇所は、切断速度が速くなるため、B部の切断方向に沿った速度が

$$1/\cos 50^\circ \approx 1.6 \text{ 倍}$$

になっていた。つまり、水平速度 640mm/minは、斜め方向で約 990mm/minの速度に、また水平速度 500mm/minは、斜め方向で約 800mm/minの速度になっていた。

②傾斜している箇所では、スタンドオフ設定値に対して、クリアランスが長くなるため。

③斜め切断になるため、板厚4mmの実質切断厚さは、約1.6倍の6mm相当になっていた。

したがって、この切断試験の結果から、このような極端に湾曲しているワークの切断をおこなう場合には、実際の切断長さでスタンドオフを考慮した切断速度およびレーザ条件を設定することが必要である。あるいは、ワーク面に対して、トーチの角度を垂直に近づけるようなハンドリング装置の制御が必要である。

### (3) 蓋補強部模擬試験体の切断

蓋補強部模擬試験体のトーチ追従性試験で定義したトーチ基準位置で、トーチを補強板に対し、平行に移動させて追従切断試験をおこなった。また、蓋補強部模擬試験体の位置変位試験で検討課題であった、補強板の切断が可能なトーチの位置についても切断試験をおこない検討した。

レーザ運転条件は、平成6年度と同一の条件<sup>1)</sup>、ピークパワー 4kW、パルス幅 0.8 ms、繰り返し数200ppsとし、ロボットの移動速度も同様に速度280mm/minとした。

その結果、トーチ基準位置では、良好切断が可能であり、そのときの補強板の残渣高さは、約 3mmであった。

補強板の切断が可能なトーチ位置についての試験は、ワークをトーチ基準位置に対して垂直方向に+0.5mm、-0.5mm、-1.5mmの範囲に動かして追従切断試験をおこなった。

その結果、ワークを垂直方向に+0.5mm動かした場合では、切断可能であった。しかし、ワークを垂直方向に-0.5mm動かした場合では、切断が可能と不可能の両方の場合があり、-1.5mm動かした場合では、切断不可能であった。

したがって、補強板の切断が可能なトーチ先端位置は、トーチ基準位置が下限であり、トーチがそれ以上の上側に位置するとき切断可能であり、トーチがそれより下側に位置するとき切断不可能であることがわかった。

これを追従性試験の位置変位試験の結果にあてはめて図-5.25～図-5.35から切断可否を領域毎に判定し、表-5.17にまとめた。

この表から、蓋補強部模擬試験体の位置変位量に対して、つぎのことがわかった。

①トーチ基準位置に対して、ワークがトーチから水平方向のみに移動し、離れる場合（プラス方向）では、トーチは、蓋に近づくため切断不可能条件となり、反対

に水平方向のみに移動し、近づく場合（マイナス方向）では、トーチは、補強板の上端に近づくため切断可能条件になることがわかる。

- ②トーチ基準位置に対して、ワークがトーチから垂直方向のみに移動し、離れる場合（プラス方向）では、トーチは、補強板の上端に近づくため切断可能条件にあり、反対に垂直方向のみに移動し、近づく場合（マイナス方向）では、トーチは、蓋に近づくため切断不可能条件になることがわかる。

表-5.17 位置変位試験の切断可能範囲

		試験体位置変位量 水平方向 [mm]										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
試験体垂直 位置変位 量 [mm]	-5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	-4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	-3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	-2	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	-1	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	0	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
	+1	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
	+2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
	+3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	+4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

[○：切断可能，×：切断不可能]

(4) 蓋模擬試験体の切断

ハル缶の蓋の切断は、蓋の板厚15mmと裏側の補強板の残渣を併せて、切断するため、残渣高さの大小が切断の可否に影響を与える。

蓋模擬試験体は、蓋補強部模擬試験体を追従切断し、残渣高さ 9~16mmのワークを製作した。このワークを蓋の表側から切断し、切断可能な最大残渣高さを求め、その結果から補強板を切断できるトーチの位置について検討した。

レーザ運転条件は、ピークパワー13kW、パルス幅 0.8kW、繰り返し数 80ppsでおこなった。切断速度は、平成6年度と同じ130mm/min<sup>1)</sup>とした。ただし、補強板の残渣に付着しているドロスは除去してから切断をおこなった。

図-5.44にトーチ移動方向を示し，切断結果を表-5.18に示す。

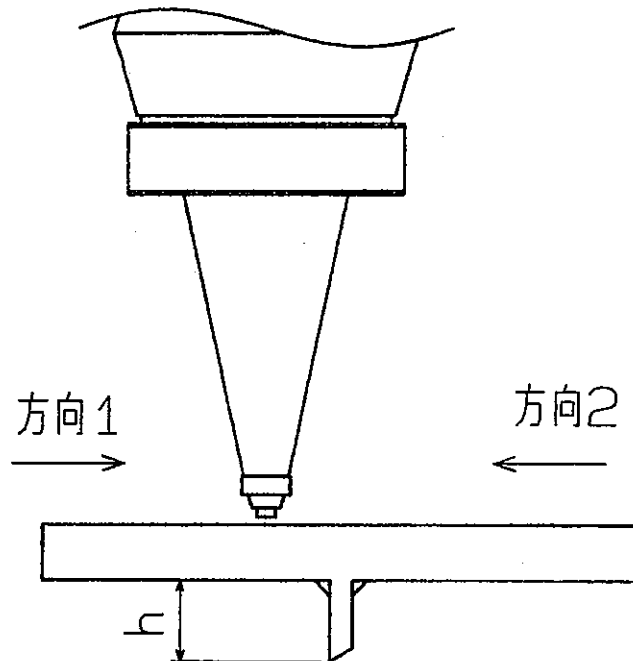


図-5.44 蓋模擬試験体の切断方向

表-5.18 蓋模擬試験体の切断可能な残渣高さ

切断方向	残渣高さ h [mm]							
	9	10	11	12	13	14	15	16
方向1	○	○	○	○		○	×	×
方向2	○	○	○	○	○	○	×	

[○：切断可能，×：切断不可能]

両切断方向ともに，蓋の表側から切断可能な最大残渣高さは，14mmであった。実ハル缶の蓋補強板の高さが30mmであるので残渣高さは，半分近くあっても，その後の蓋の切断が可能であることがわかった。

したがって，補強板を切断する場合のトーチの位置は，トーチ基準位置での残渣高さ（約 3mm）との差が約11mmであることから，トーチ基準位置から上側に約11mmの範囲にあればよいことが明らかになった。

(5) 脚受け板模擬試験体の切断

トーチ追従性試験で得られた追従可能速度を基準にして切断確認試験をおこなった。

切断方向は、図-5.20に示した方向と同じとし、曲面から平坦面とその反対方向からの両方向でおこなった。

レーザ運転条件は、平成6年度と同じ切断条件<sup>1)</sup>、ピークパワー 4kW、パルス幅 0.8ms、繰り返し数200ppsとした。

試験結果を表-5.19に示す。

表-5.19 脚受け板模擬試験体の切断可能速度

切断方向	切断速度 [mm/min]				
	200	300	400	500	600
方向1 曲面⇒平坦面	○	○	○	○	×
方向2 平坦面⇒曲面	○	○	×		

[○：切断可能，×：切断不可能]

方向1では最大追従速度 500mm/minまでの切断が可能であった。追従不可能である速度600mm/minでは、曲面との接触箇所セルフバーニングが発生し、カーフ幅が広がった。また、方向2では、最大追従速度 400mm/minで、曲面の下端が切断できずに残った。切断可能な最大速度は300mm/minであった。

なお、両方向ともに水抜き穴の前後では、追従速度600mm/minで良好な切断が可能であった。

以上の結果、センシングシステムを使用して、実ハル缶の脚受け板を切断する場合には、外側から内側に向かって切断する方が、切断速度が速くなることが明らかになった。

### 5.3.2 実ハル缶の切断

#### (1) 蓋補強部の切断

蓋模擬試験体の切断試験の結果から、トーチは基準位置から上側におよそ11mmの範囲にあれば良いことが明らかになっているので、ワークの位置決めを大まかにおこなった。

レーザ運転条件は、前年度と同一条件とした。切断ルートは、外側の端から内側に追従させた後、斜め上に追従させた。

切断試験の結果、センシングシステムを使用した実ハル缶の蓋補強部の切断が可能であることが確認された。

ドロスの状況は、切断した補強板の裏面カーフ端に付着して、そこから蓋表面に薄く広がった。ただし、このドロスは、蓋の面には溶着していないため硬いもので叩けば簡単に取り除けるものであった。

写真-5.2 に蓋補強部の切断後の状況を示す。

#### (2) 締め付けリングの切断

トーチ追従性試験で、締め付けリングのネジ穴の追従が、不可能であることが明らかになっている。このため切断試験では、ネジ穴上を通過させて切断する場合には、トーチのセンシング最大下降点が、段差の下の面でスタンドオフが2mmになる位置にくるようにロボットをティーチングして、ネジ穴部でトーチが下降しすぎないように動作を制限した。その後のトーチを傾斜させる箇所では、トーチの上下動作の制限をなくして切断試験をおこなった。

また、ネジ穴を避けて切断する場合は、端部検出回路を使用して、ワーク外側の端からセンシング制御をおこない追従切断試験をおこなった。

締め付けリングのセッティング条件は、平成6年度の試験<sup>1)</sup>と同様に全てのボルトを外した状態にしておこなった。レーザ運転条件も、平成6年度の実ハル缶の切断条件<sup>1)</sup>、ピークパワー13kW、パルス幅0.8ms、繰り返し数80ppsとし、切断速度も130mm/minとした。

切断試験の結果、ネジ穴を通過した場合、およびネジ穴を避けた場合ともにトーチが垂直な姿勢の箇所では、良好な切断が可能であった。しかし、トーチをワークに対して傾斜させた箇所では、両者ともに以下の現象が発生し、トーチがワークから離れ

るように動作して切断不可能となった。

- ①傾斜切断時にドロス、およびヒュームがワーク表面から噴出しトーチ先端付近に付着する場合があった。
- ②付着したドロスで電極を取り付けているアルミ製のシールドナットが溶けて破損する場合があった。
- ③これらの場合に、センサ電極の絶縁不良のアラームが発生し、その都度、電極部分の清掃を必要とした。

写真-5.3 に噴出したドロスが、センサに付着している様子を示す。

また、トーチがワークから離れる原因は、ドロスおよびヒュームが表面から噴出してセンサ電極に当たったときに、センサがワークと電氣的に導通状態になることにより、トーチを上方に逃がすように動作したものと考えられる。したがって、トーチがワークから離れ、スタンドオフが広がるために、切断条件から外れて切断不可能となると考えられる。

この対策として、以下をおこなった。

- ①締め付けリングを持ち上げ、蓋との隙間を広げ、アシストガス、ドロス、およびヒュームを下方に流れやすくした。
- ②レーザ運転条件の1パルスのエネルギーを大きくし、かつパルス幅を広くして板厚22mmの切断条件と同じ、ピークパワー17kW、パルス幅2ms、繰り返し数29ppsにした。
- ③切断速度を80mm/minに下げた。

この結果、ワークに対して、トーチを垂直にして追従させる箇所、およびトーチを傾斜させて追従させる箇所ともに問題なく追従切断が可能となった。

このときのドロスの発生状況は、ドロスの表面への噴出はなく、ドロスは蓋との隙間にすべて残った。このドロスの一部は蓋の表面および締め付けリングの裏面に付着したが、硬いもので叩けば簡単に取り除けるものであった。

写真-5.4 に締め付けリングの切断の様子を示す。



### (3) 蓋の切断

締め付けリングを切断した後の蓋の表面には、レーザ光が当たって削れてできた深さ約 1~2mm の筋状の傷がついている。

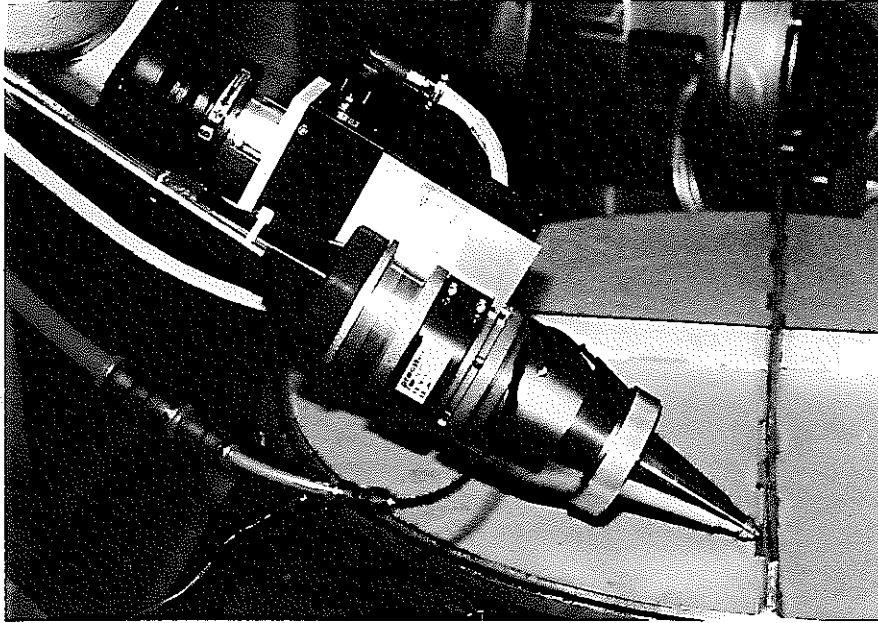
切断試験では、この表面に傷のついた実ハル缶の蓋をセンシングシステムを使用しておこなった。ただし、締め付けリング切断後のドロスが残っている状態では、センサはドロスの上を追従して蓋表面とのスタンドオフが大きく離れるため、ドロスを取り除いてから切断試験をおこなった。

レーザ運転条件は、平成6年度と同じ切断条件<sup>1)</sup>、ピークパワー13kW、パルス幅0.8ms、繰り返し数80ppsとし、移動速度も前年度と同じく切断速度130mm/minとした。

切断ルートは、外周端から内側に移動させた後、円周方向に移動させ、約1/3周ずつ切断して外周端に移動させた。

その結果、蓋の表面の傷のある箇所も良好な追従切断が可能であった。

ドロスの発生状況は、ドロスの表側への噴出はなく、ドロスのほとんどは裏側に抜けて、わずかに裏面カーフに付着した。このドロスは、叩けば簡単に取り除けるものであった。



(a) 補強部のセンシング状況

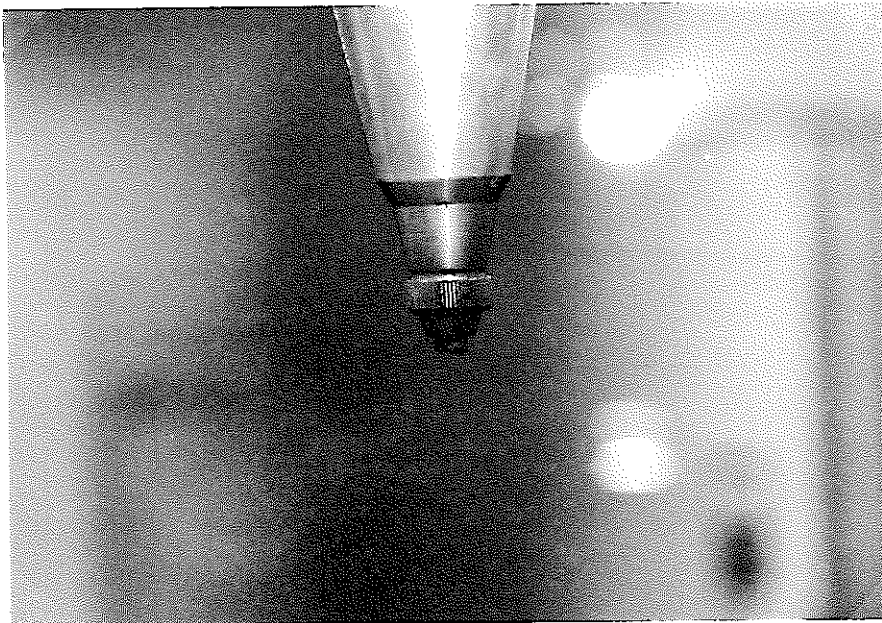


(b) 補強板の切断状況

写真-5.2 蓋補強部の切断状況



(a) 締め付けリング表面に噴出したドロス



(b) センサ電極に付着したドロス

写真-5.3 噴出したドロスの付着状況

## 5.4 自動切断システムの具体化

前項までにスタンドオフ制御機構について静電容量式ハイトセンサにて対応可能であることを切断試験等により確認し、その機構、システムについて問題点、課題を明らかにした。

ここでは、スタンドオフ制御機構の試験結果を踏まえて、ハル缶を自動切断した場合のシステムについて平成6年度実施した内容<sup>1)</sup>の見直しを含めて検討をおこなう。また、自動化切断システムのコスト評価の検討も加えるものとする。

### 5.4.1 自動切断範囲の検討

#### (1) 検討の前提条件

自動切断範囲の検討は、以下の前提条件に基づき検討を実施した。

- ① YAGレーザー切断装置は、平成6年度の試験<sup>1)</sup>で確認したレーザー出力1kWの装置とする。
- ② 切断対象物は新型ハル缶（大きさ：φ753 mm×960mm(H)、重量：約260 kg）とし、旧型ハル缶は新型ハル缶の切断手順で行うものとする。
- ③ 細断程度は、ハル缶2缶分がハル缶1缶に収納可能な大きさとする。
- ④ 作業時間は、日勤（約6時間）とし、2缶/日の処理能力が確保できるシステム構成とする。
- ⑤ 自動切断の検討範囲は、搬入装置よりハル缶を受取った後から搬出装置払出し前（ハル缶収納）までとする。

#### (2) 検討内容

自動化切断の範囲としては、ハル缶の切断、ハンドリング作業すべてを自動で行う全自動システムとハンドリング作業をマニプレータ等による人手操作とし、ハル缶切断作業のみを自動化する一部自動化システムの2種類のシステムが考えられる。しかし、平成6年度で検討<sup>1)</sup>をおこなったように、ハル缶2缶分を1缶に収納可能な大きさに細断するためには、図-3.1の切断手順が必要となる。本図からわかるように主な手順としては、蓋と本体を個々に受ける⇒切断作業⇒仮置き、段取り替え（ハンドリング作業）⇒切断作業⇒ハンドリング作業⇒切断作業⇒収納作業 というように切断作業とハンドリング作業を繰り返しおこなっている。

以上のことを考慮すると、ハンドリング作業も含めて自動化する全自動化システムは

経済的負担および開発要素が多く含まれることが予想されあまり現実的ではないものと考えられる。一方、ハンドリング作業は人手によるマニプレータ等の作業とする一部自動化システムは、自動化機器が少ないことから全自動化システムに比べて経済的負担は軽く、かつ、開発要素もほとんど無く既存技術の組合せにより対応可能と考えられる。

2種類の自動化システムを操作性、作業性、課題等の点から比較したものを表-5.20に示す

本表より、本報告書では、技術的課題が少なく、経済性に有利な一部自動化システムの検討を行い設備の具体化をおこなうものとする。

#### 5.4.2 一部自動化システムの具体化検討

##### (1) 平成6年度検討した切断手順の見直し

図-5.45に平成6年度検討した切断手順<sup>1)</sup>を示す。この手順を5.4.1項の検討内容のとおり一部自動化システムとした場合について検討をおこなった。なお、特に自動化のメリットを阻害する作業（人手によるマニプレータ等の作業）は、できるだけ最小にすることも含めて見直しをおこなった。表-5.21に自動化にあたっての問題点、対策等についてまとめたものを示す。

##### (2) 見直し切断手順

表-5.21の内容、および前項の試験結果を考慮して、見直した切断フローを図-5.46に、概略作業手順を図-5.47に示す。また、本手順の詳細な内容、および想定作業時間等を表-5.22に、1日のハル切断作業タイムチャートを図-5.48に示す。

##### (3) 機器構成

図-5.46の見直し切断手順でハル缶切断を行うためには、レーザ切断装置以外に下記の機器が必要となる。なお、本報告書では、ITV監視装置、メンテナンス用機器（治具）等は別途検討するものとして省略した。

- ① 切断物保持クレーン（位置センサ、回転機構付き）
- ② 切断テーブルA、B
- ③ レーザトーチ操作ロボット（多軸ロボット）
- ④ マニプレータ
- ⑤ ヒューム回収装置
- ⑥ 切断片保管テーブル

表－5.20 自動化システム概念の比較

	全自動化システム	一部自動化システム	備 考
システム概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハル缶のセット，収納済ハル缶の搬出作業以外の各工程における切断作業，切断片，および段取り替え等のハンドリング作業すべてを遠隔自動にておこなうシステム。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各工程におけるハル缶切断作業のみを自動でおこない，切断片，段取り替え等のハンドリング作業は，マニプレータ等による人手作業でおこなうシステム。</li> </ul>	
操作性 作業性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハル缶のセット，収納済ハル缶の搬出作業以外のすべての作業を自動でおこなうため，運転員の負担は作業監視のみであり，実作業はほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断片，段取り替え等の作業は，マニプレータによる人手でおこなうことから，作業の熟練度合いに操作性，作業効率が左右される。</li> </ul>	
自動化に必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断ロボット</li> <li>・切断片ハンドリングロボット（段取り替え作業も共用）</li> <li>・位置決め機能</li> <li>・ハル缶回転機能</li> <li>・物品認識機能</li> <li>・マニプレータ、インセルクレーン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断ロボット</li> <li>・位置決め機能</li> <li>・ハル缶回転機能</li> <li>・マニプレータ、インセルクレーン</li> </ul>	
問題点 課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物品認識をしながら切断片ハンドリングロボットにより切断片をつかむシステムの開発が必要など，実用化されていない要素技術が多くある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の要素技術で対応可能であり，特に問題はない。</li> </ul>	
経済的負担	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発要素のある装置を必要とするため，かなりの開発費が必要となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の要素技術で対応可能であるため，全自動化システムに比較して，経済的負担は少ないと予想される。</li> </ul>	
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転の監視作業のみとなることか，操作性，作業性は非常に優れている。</li> <li>・実用化されていない要素技術が，ほとんどであり開発的リスクが大きい。</li> <li>・装置開発が伴うため，経済的負担もかなり大きく，現実的でない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切断片，段取り替え等のハンドリング作業はマニプレータによる人手作業で熟練度合いに操作性，作業性は左右される。</li> <li>・装置の開発要因もなく，既存技術の組合せで対応可能であり技術的信頼度も高い。</li> <li>・経済的負担は現実的なベースと言える。</li> </ul>	

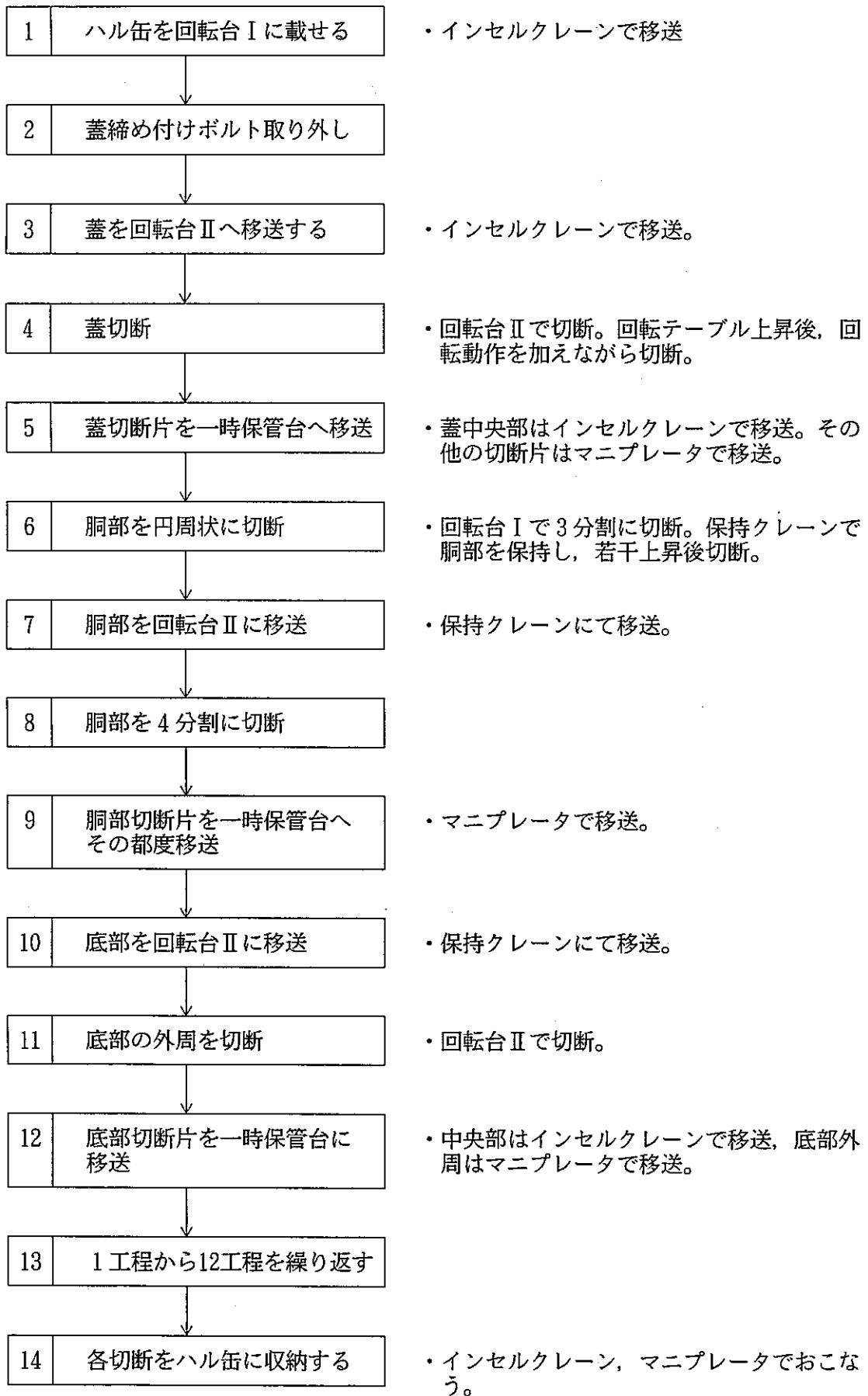


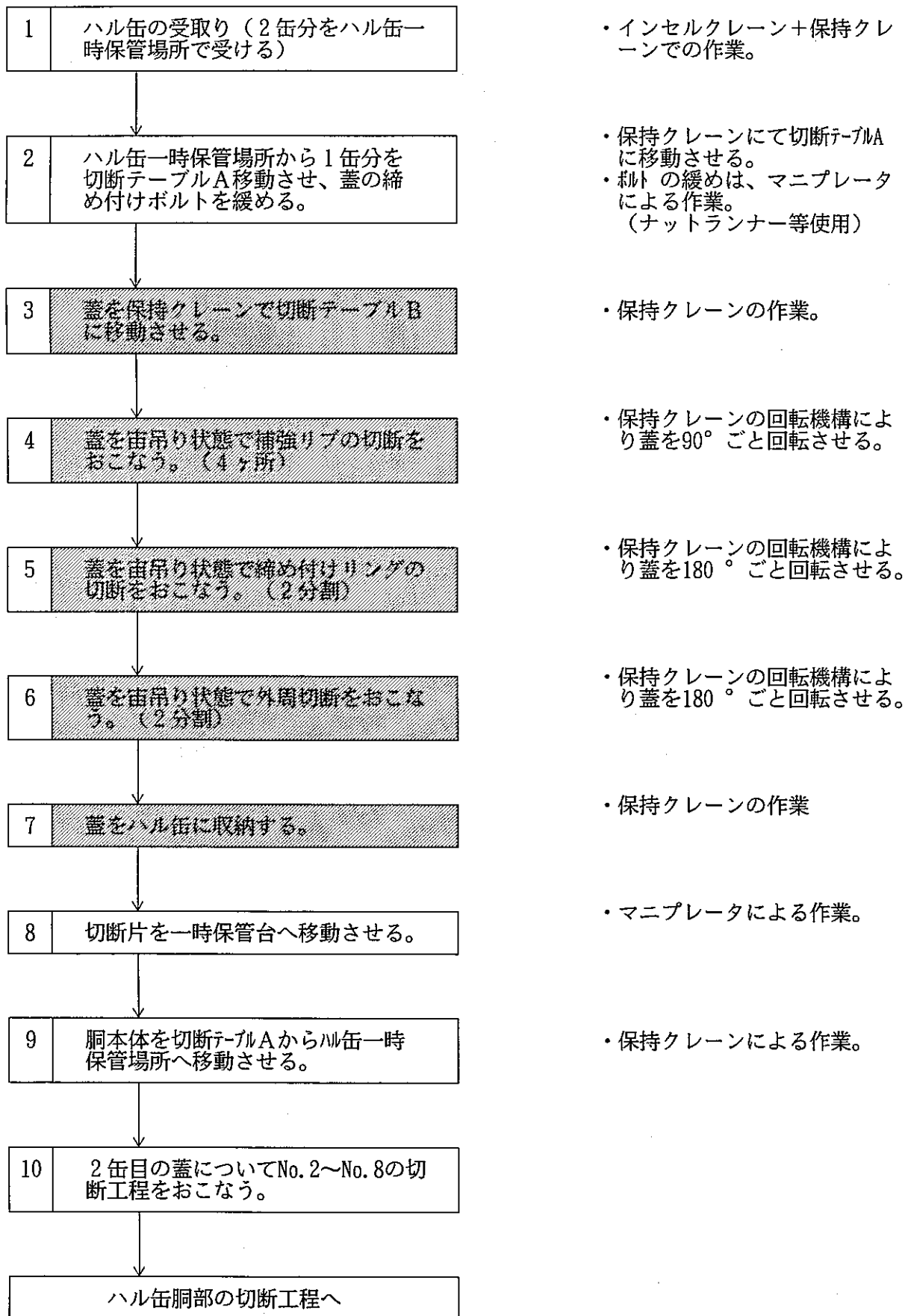
図 - 5. 45 ハル缶切断手順フロー図  
(平成6年度検討結果<sup>1)</sup>)

表-5.21 平成6年度切断手順フローへの自動化適応検討

番号 (*)	作業内容	自動化にあたっての問題点及び試験結果から見直しが必要な内容。	対策等	見直し作業内容
2	・ハル缶蓋締め付けボルトの取り外し	・蓋締め付けリングの切断は、蓋と重ね合わせて切断するため締め付けボルトを取り外した場合、ドロスが蓋に跳ね返りトーチ側へドロスのふき上がりが予想される。 この場合、スタンドオフセンサーに影響を与える恐れが、試験結果からわかった。	・締め付けボルトをジャッキ替わりにして蓋と締め付けリングとにドロス抜き用の隙間を作り、ふき上がりを防止する。	・締め付けボルトを緩め締め付けリング切断時は、ジャッキ替わりとし蓋との隙間を作り切断する。
4	・ハル缶蓋切断	・蓋裏面の補強リブの切断は、蓋を反転して切断するため、マニピュレータ+インセルクレーンの作業では約120kgの蓋を反転することはかなり困難。反転装置を作るにしても大がかりになる。	・試験結果から補強リブは半分程度切断すれば蓋切断には支障は無いことが分かった。このことから、蓋を反転させ残渣リブ高さを少なくする必要が無くなった。	・反転させず宙吊り状態で補強リブおよび蓋外周を切断する。
6	・ハル缶胴部を円周状に切断	・ハル缶胴部の切断作業の初めとして、円周状に輪切り(3分割)にすると、輪切り部をその都度マニピュレータで仮置きする必要があるため人手作業の負担が大きい。	・輪切り切断後に細断する工程では、マニピュレータによる保管台と切断台との移動作業がかなりあり、むだ作業が発生する(輪切り⇒保管台⇒細断⇒保管台) このため、切断作業を集中して自動切断と人手作業の範囲を明確にする。	・初めに胴底部の切断を宙吊り状態で行い、切断台を変え胴下部より1/12分割分を直接切断する。すべて切断後に切断片を保管台に移送する。
7	・ハル缶胴部を回転台Ⅱに移送	・輪切り片をつかむための特殊治具が必要となる。		
8	・ハル缶胴部切断片を一時保管台へその都度移送	・一時保管台からその都度、輪切り片を特殊治具を用いて作業をおこなう必要があり、効率的ではない。		
11	・ハル缶底板の外周を切断	・ハル缶底板の外周切断は、底板を反転した後切断するため、マニピュレータ+インセルクレーンの作業ではつかみ代の無い底板の反転はかなり困難。反転装置を作るにしても、つかみ代の無い底板を安全に反転するには大がかりなものとなる。	・切断台にセットした状態で、多軸ロボットのアーム駆動で外周、緩衝底板外周の切断をおこない、反転作業を無くす。	・切断台にセットした状態で、多軸ロボットを用いて1/4分割分を直接切断する。
-	・切断開始点の位置決めおよびスタンドの設定	・切断時毎に切断位置およびスタンド設定を人手作業で行うのは作業効率に劣る。	・切断対象物(ハル缶)の形状がほぼ一定であることから、切断ポイントのフィジックにより大まかな位置決めをおこなう。	・切断ポイントのフィジック+スタンド制御で切断をおこなう。

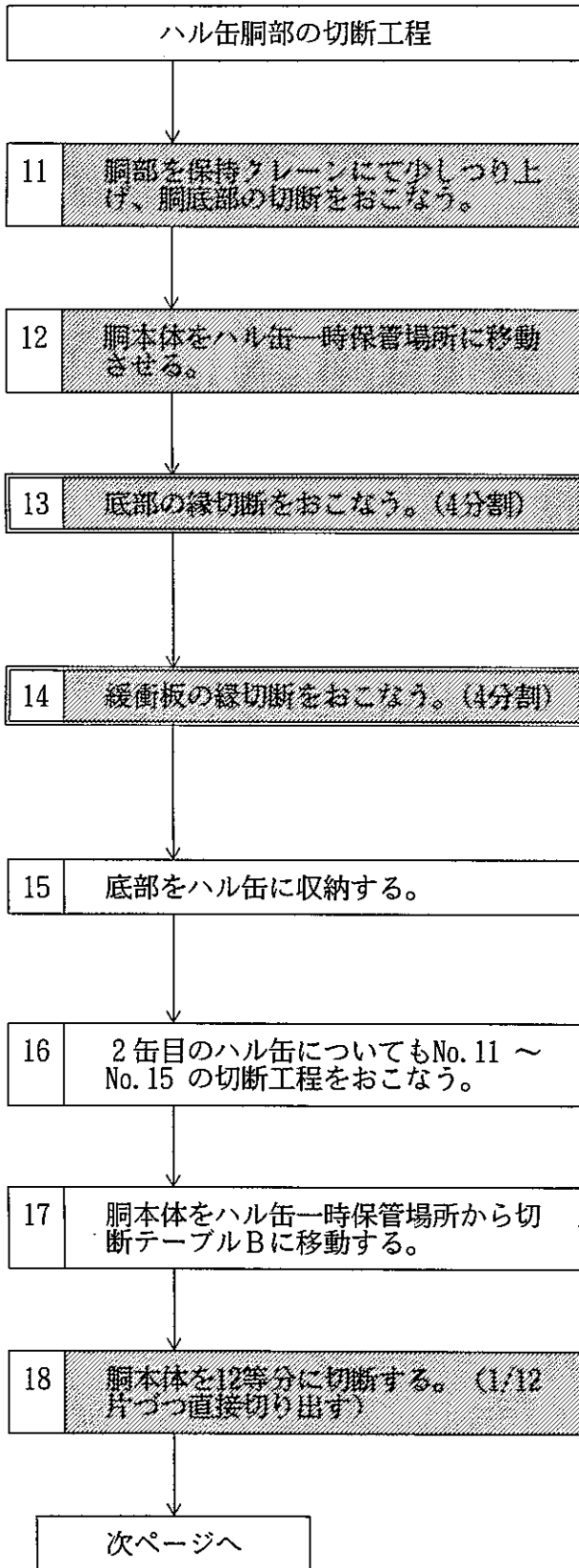
(注記) \* : 図-5.43 記載の工程番号を示す。





(注記) ■■■ 部は自動作業工程を示す。(トーチの位置決めはフィードバック制御でおこなう)

図-5.46 ハル缶切断手順の見直しフロー図(1/3)  
(蓋切断作業工程)



- 保持クレーンの回転機構により胴部を360°回転させる。

- 保持クレーンにて移動。

- トーチ操作ロボットにて切断する。
- 切断片はマニプレータにて一時保管場所に移動する。(切断作業に支障がある場合)

- トーチ操作ロボットにて切断する。
- 切断片はマニプレータにて一時保管場所に移動する。(切断作業に支障がある場合)

- 保持クレーンにて移動させ収納する。

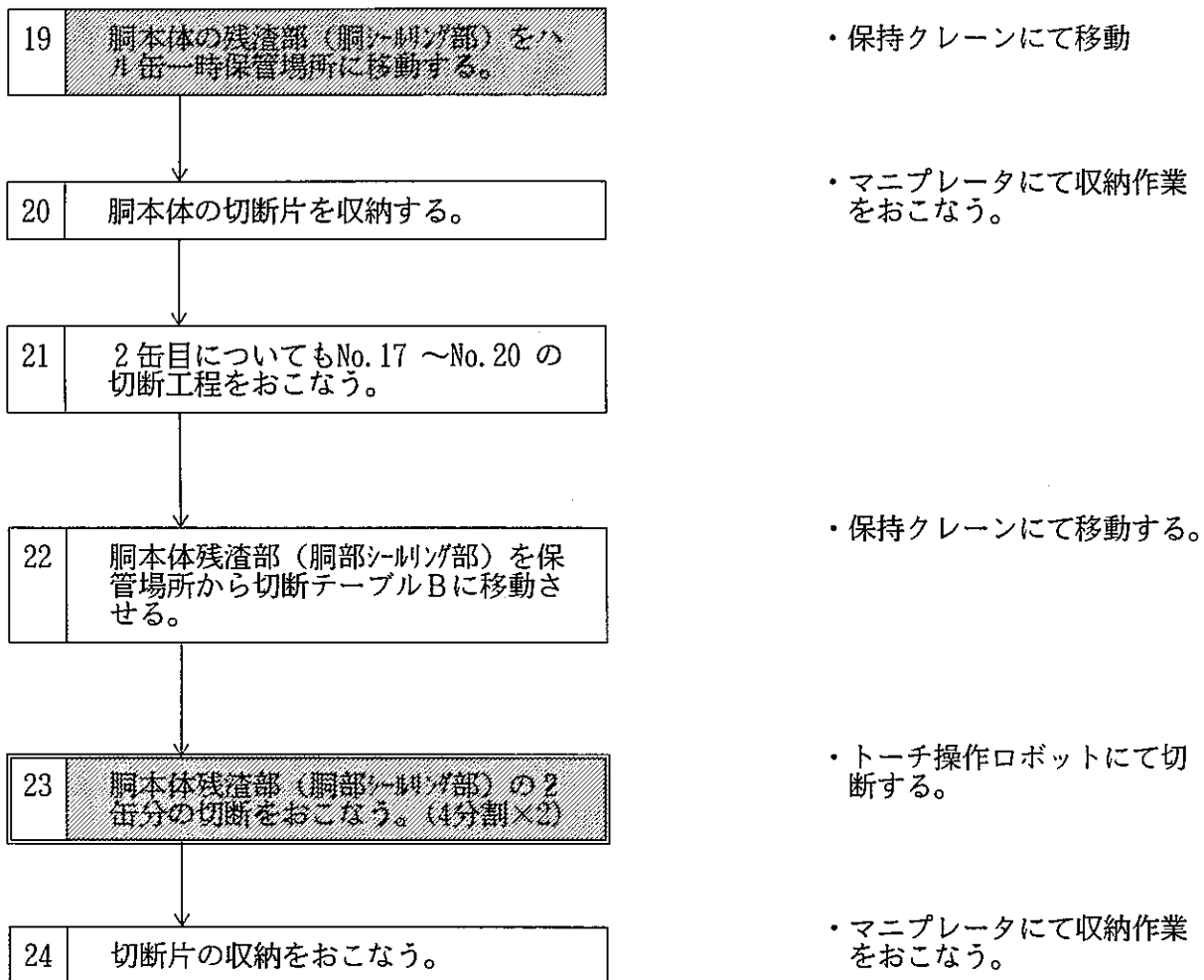
- 保持クレーンにて移動させ、宙吊り状態で切断する。

- 保持クレーンにて宙吊り状態で切断する。
- 切断片1体切断毎に胴本体を90°回転させる。

(注記) 1. 部は自動作業工程を示す。(トーチの位置決めはフィードバック制御でおこなう)

2. は人手によりトーチの位置決めをおこなう作業工程を示す。

図 - 5. 46 ハル缶切断手順の見直しフロー図(2/3)  
(胴部切断作業工程)



(注記) 1. 部は自動作業工程を示す。(トーチの位置決めはティーチング+スタンドオフ制御でおこなう)  
 2. は人手によりトーチの位置決めをおこなう作業工程を示す。

図-5.46 ハル缶切断手順の見直しフロー図(3/3)  
 (胴部切断作業工程)

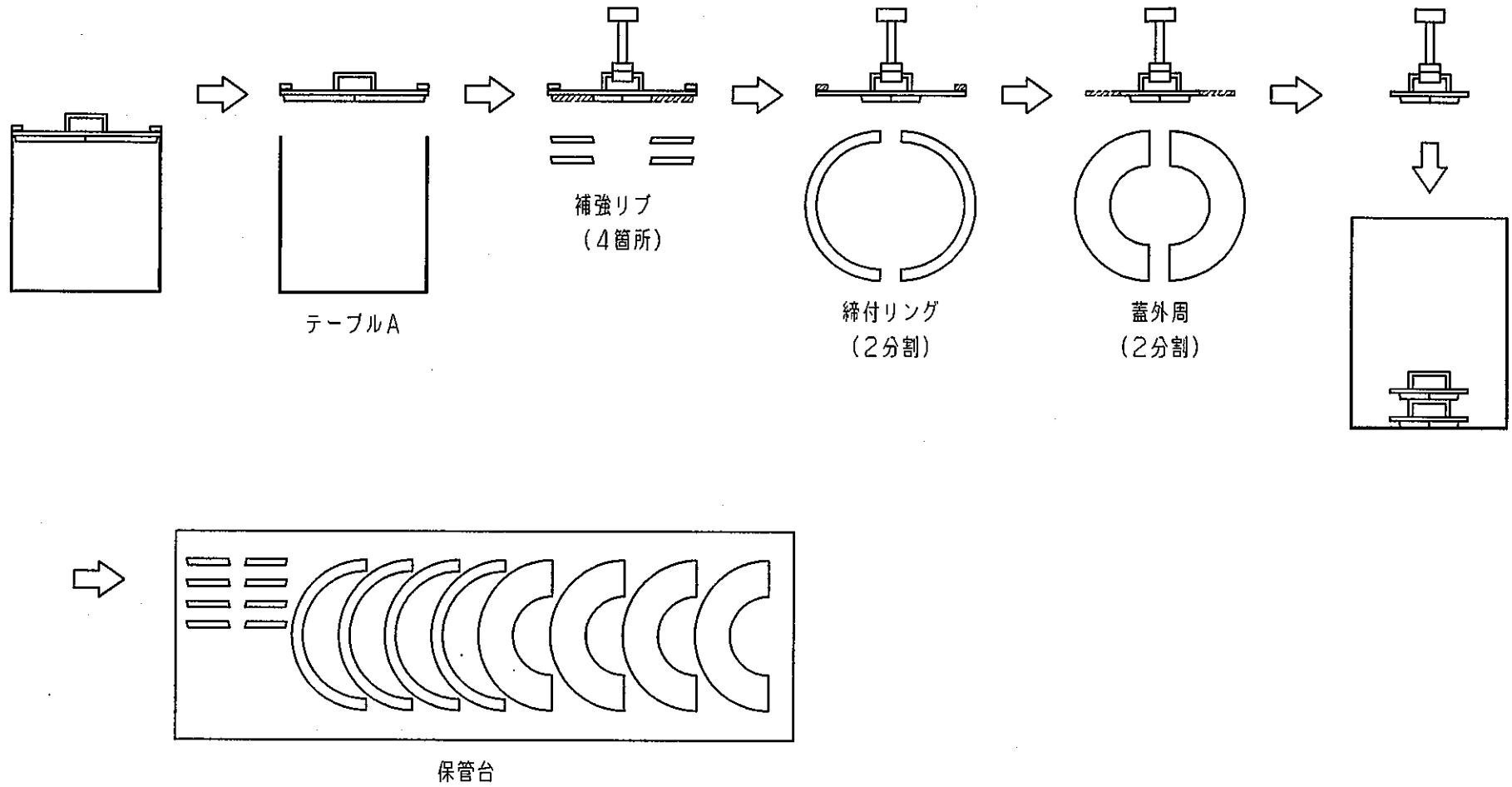


図-5.47 概略作業手順（蓋切断作業工程）（1 / 3）

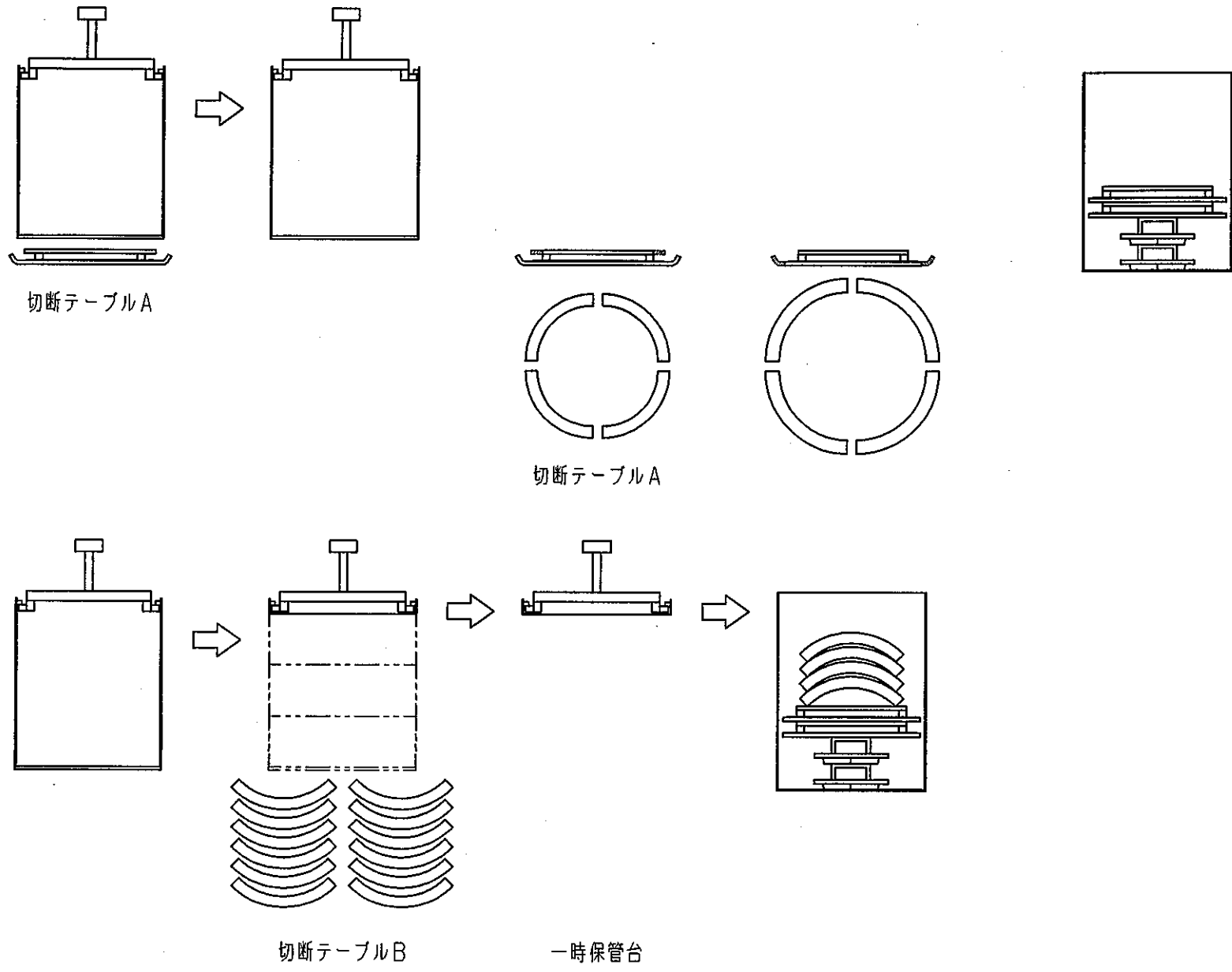


図-5.47 概略作業手順（胴部切断作業工程 その1）（2 / 3）

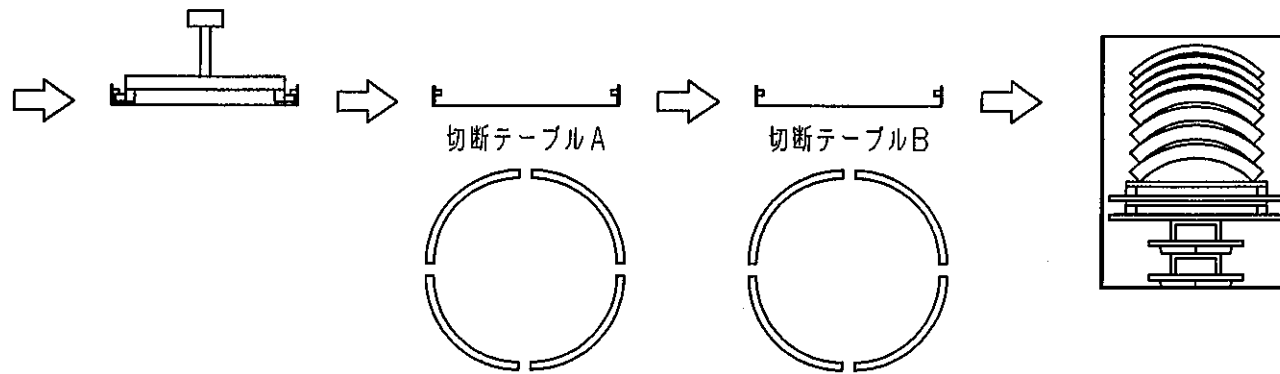


図-5.47 概略作業手順（胴部切断作業工程 その2）（3 / 3）

表 5.22 ハル缶切断の想定作業時間 (1/2)

作業内容		使用機器	場 所	切断速度 (mm/min)	所要時間 (min)	備 考
(1) 蓋 切 断 工 程	①ハル缶を切断テーブルAに移動	保持クレーン	切断テーブルA	—	5	
	②蓋締付ボルトを緩める(8本)	マニプレータ+ 専用治具	切断テーブルA	—	16	
	①蓋を切断テーブルBに移動	保持クレーン	切断テーブルA ⇒切断テーブルB	—	5	
	②蓋を宙吊り状態で補強リブ 切断(4分割)	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB	280	1.3	
	③蓋を宙吊り状態で締め付け リング切断(2分割)	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB	80	1.5	
	④蓋を宙吊り状態で外周部切 断(2分割)	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB	130	15.5	
	⑤蓋をハル缶に収納	保持クレーン	収納用ハル缶 置場	—	5	
	⑥切断片を一時保管台へ移動	マニプレータ	切断テーブルB ⇒一時保管台	—	8	
	⑦胴本体を切断テーブルAからハ ル缶一時保管場所へ移動	保持クレーン	切断テーブルA ⇒ハル缶一時保 管場所	—	5	
⑧蓋の切断工程は①～⑦の繰 り返し	保持クレーン マニプレータ トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB ⇒一時保管台	—	62.3	(124.6)	
(2) 胴 部 切 断 工 程	①胴を切断テーブルAに移動	保持クレーン	切断テーブルA	—	5	
	②胴を吊り上げ状態で胴底部 を切断	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルA	640	7.7	
	③胴本体をハル缶一時保管場 所へ移動	保持クレーン	切断テーブルA ⇒一時保管台	—	5	
	④胴底部の縁切断(4分割)	トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルA	130	17.1	
	⑤緩衝板の縁切断(4分割)	トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルA	640	3.5	
	⑥切断片を一時保管場所へ移 動	マニプレータ	切断テーブルA ⇒一時保管台	—	8	

(注記) 1 : 各部の切断時間は、平成6年度で得られた最適切断速度に余裕を見込み80%とした。ただし  
締め付けリングの切断速度は今回の試験結果より得られた値とする。  
2 : 移動時間等は、保持クレーン5min/個、マニプレータ1min/個、ボルトの緩め2min/個と想定した。  
3 : 備考の( )内数字は、各作業工程の合計時間である。

表－5.22 ハル缶切断の想定作業時間（2/2）

作業内容		使用機器	場 所	切断速度 (mm/min)	所要時間 (min)	備 考
② 胴 部 切 断 工 程	⑦胴低部をハル缶に収納	保持クレーン	収納用ハル缶 置場	—	5	
	⑧2 缶目の胴をを切断テーブルA に移動	保持クレーン	切断テーブルA	—	5	
	⑨胴の切断工程は②～⑦の繰 り返し	保持クレーン マニプレータ トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルA⇔ 一時保管場所	—	46.3	
	⑩胴本体をハル缶一時保管場 所から切断テーブルBに移動	保持クレーン	切断テーブルB	—	5	
	⑪胴本体の切断（1 2 分割）	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB	640	20	
	⑫胴本体の残渣部をハル缶一 時保管場所に移動	保持クレーン	切断テーブルB⇔ 一時保管場所	—	5	
	⑬胴本体の切断片をハル缶に 収納	マニプレータ	収納用ハル缶 置場	—	12	
	⑭2 缶目の胴本体を切断テー ブルBに移動	保持クレーン	切断テーブルB	—	5	
	⑮胴本体の切断工程は⑪～⑬ の繰り返し	保持クレーン トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルB⇔ 一時保管場所	—	37	
	⑯胴本体の残渣部を一時保管 場所から切断テーブルAおよび 切断テーブルBに移動	保持クレーン	一時保管場所 ⇔切断テーブルA 切断テーブルB	—	10	
⑰胴本体の残渣部（2 缶分） の切断（4 分割×2）	トーチ操作ロボッ ト	切断テーブルA 切断テーブルB	60	4.1		
⑱切断片をハル缶に収納	マニプレータ	収納用ハル缶 置場	—	8	(208.8)	

(注記) 1 : 各部の切断時間は、平成6年度で得られた最適切断速度に余裕を見込み80%とした。ただし締め付けリングの切断速度は今回の試験結果より得られた値とする。  
 2 : 移動時間等は、保持クレーン5min/ 個、マニプレータ1min/ 個と想定した。  
 3 : 備考の（ ）内数字は、各作業工程の合計時間である。

ハル缶2 缶分の切断時間および切断片収納時間は、各部分の切断時間の合計であることから上記表より(1)+(2)の合計となる。すなわち、124.6+208.8 =333.4 min となる。

したがって、1日2 缶分の切断、切断片収納は作業時間内（約6 時間）で処理が可能である。



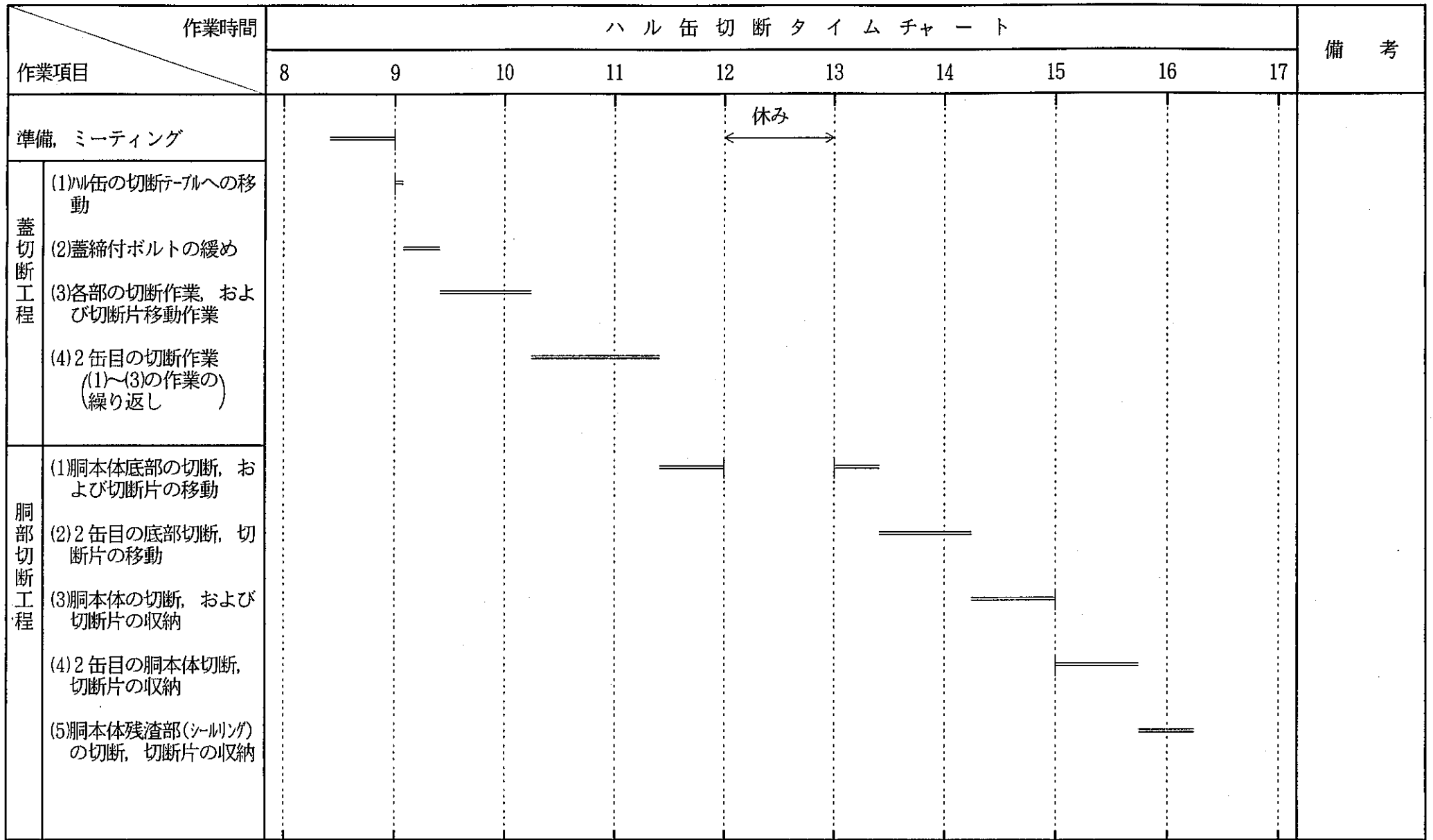


図-5.48 ハル缶切断タイムチャート (2缶/日 処理ベース)

#### (4) 機器の概要

##### (i) 切断物保持クレーン

###### (a) 概 要

ハル缶の保持および移動をおこなうクレーン式ハンドリング装置であり、走行、昇降、ハル缶回転およびハル缶把持機構等を有している。また、ハル缶の蓋部のハンドリングも本装置で取り扱えるよう把持機構を共用できる構造としている。なお、概略構造を図-5.49に示す。

(b) 形 式 : ハル缶把持機構, 回転機構, 位置センサ付きクレーン

(c) 把持重量 : 約300 kg

(d) 回転速度 :  $\sim 1000\text{mm}/\text{min}$

(e) 主要材質 : ステンレス鋼, 炭素鋼

(f) 基 数 : 1基

##### (ii) 切断テーブルA, B

###### (a) 概 要

切断台は切断物保持クレーンの下部に設置され、ハル缶本体切断用の切断台A、蓋部切断用の切断台、および収納用ハル缶置場等から構成されている。切断台A、Bは、ヒューム回収用として吸引配管を設け、切断時に発生するヒューム等のセル内飛散を防止する。概略構造を図-5.49に、概略機器配置を図-5.50に示す。

(b) 形 式 : 下部吸引式

(c) 主要材質 : ステンレス鋼

(d) 基 数 : 2基

##### (iii) レーザトーチ操作ロボット

###### (a) 概 要

レーザトーチ操作ロボットは、ティーチング機構を有する一般産業用の6軸ロボットであり、先端にトーチ、およびスタンドオフ制御機構を保持している。

ハル缶表面の凹凸および主要部位の段差部等の変形もスタンドオフを一定に維持しながら自動切断が可能である。なお、スタンドオフの制御は、ティーチング機構+スタンドオフ制御機構で制御をおこなうものとする。

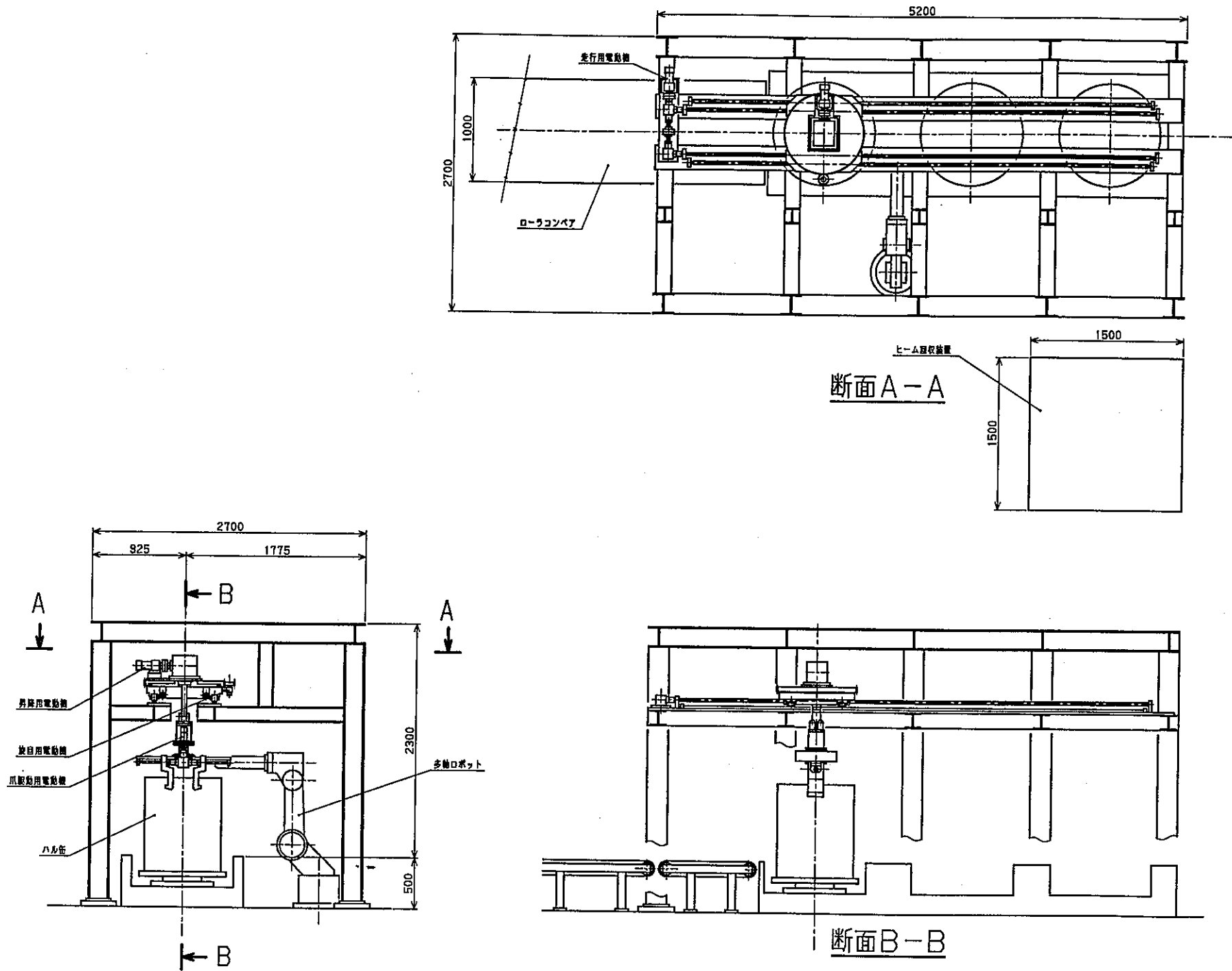


図-5.49 切断物保持クレーン、および切断テーブルの概略構造図

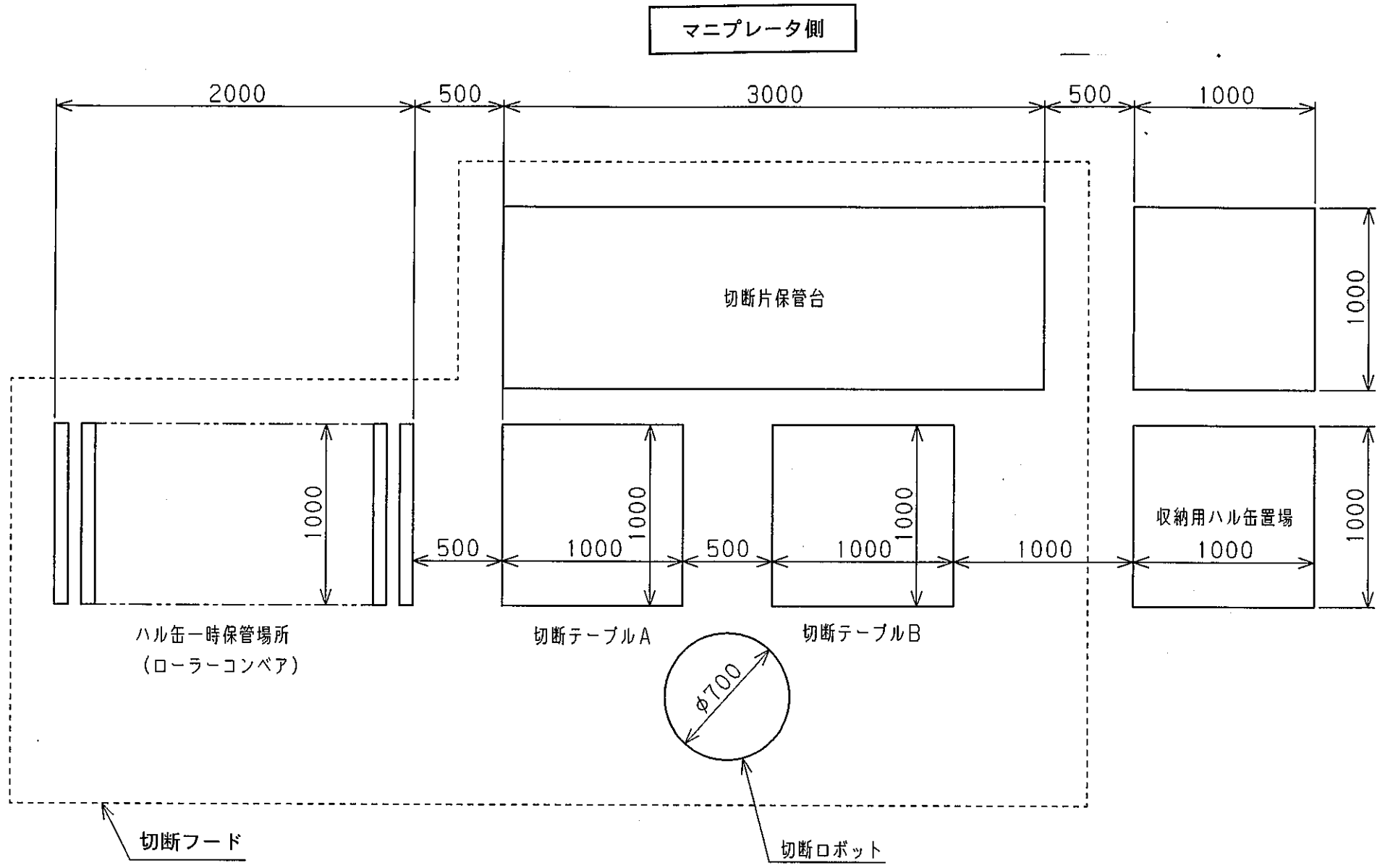


図 5.50 概略機器配置図

- (b) 形 式 : ティーチング機構+スタンドオフ制御機構付き6軸ロボット
- (c) スタンドオフ制御範囲 : 0~10mm
- (d) 主要材質 : ステンレス鋼、アルミ合金
- (e) 回転半径 : 最大 1635mm
- (f) 基 数 : 1基

(iv) マニプレータ

(a) 概 要

ハル缶切断片等の収納ハル缶への収納、および切断作業過程での各種ハンドリングをおこなうものである。

- (b) 形 式 : マスタースレーブ式
- (c) ハンドリング重量 : 約25kg
- (d) 主要材質 : ステンレス鋼, アルミ合金
- (e) 基 数 : 2 組

(v) ヒューム回収装置

(a) 概 要

切断時に発生するヒューム等を含むガスを切断台A, Bより吸引し, 除じん器(バグフィルタ), およびHEPAフィルタによりヒューム等を除去する装置である。ヒューム等を除去されたガスは, セル内に排気する。概略構造を図-5.51に示す。

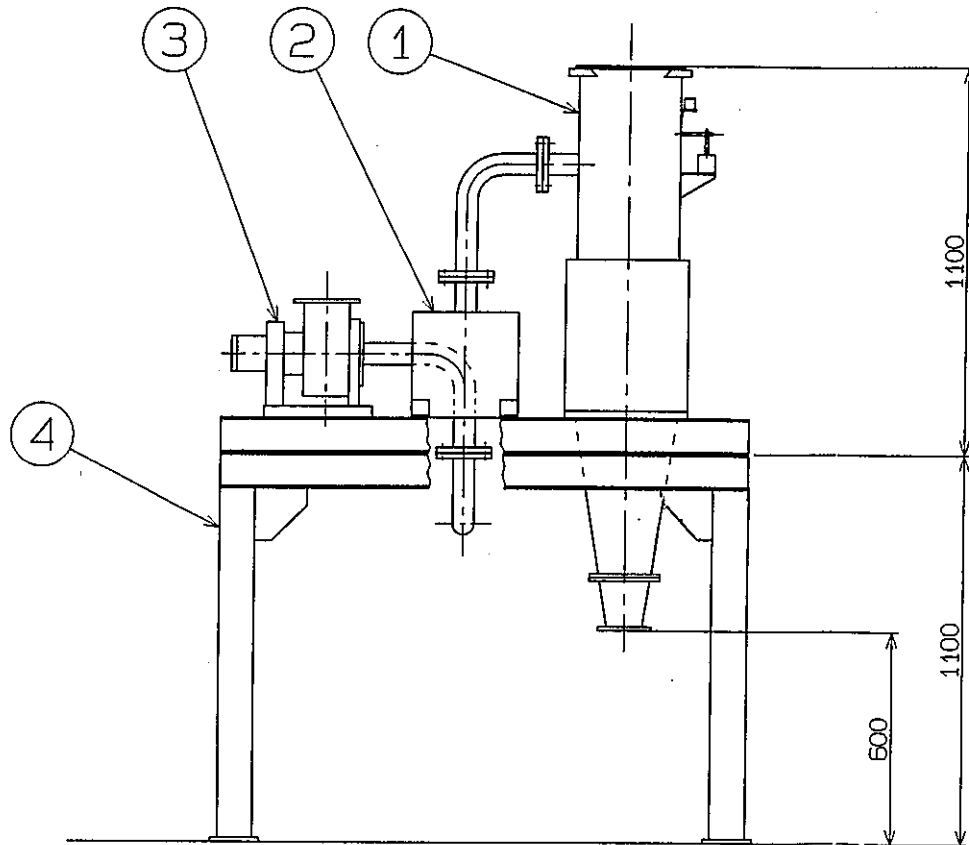
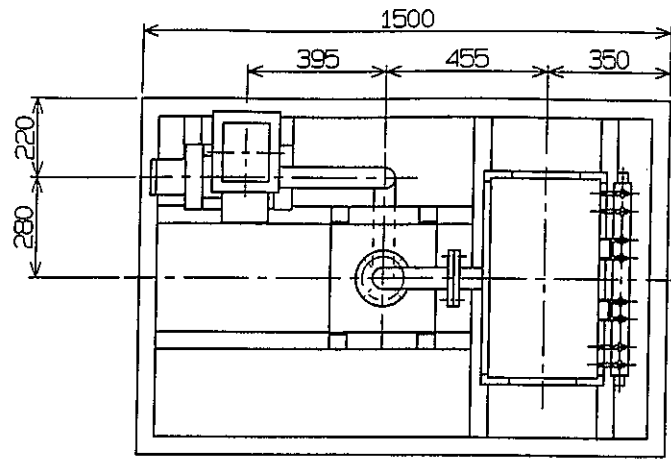
- (b) 形 式 : バグフィルタ+HEPAフィルタ
- (c) 処理能力 : 約 15 N<sup>m</sup>/min
- (d) 主要材質 : ステンレス鋼, アルミ合金
- (e) 基 数 : 1 式

(vi) 切断片保管テーブル

(a) 概 要

ハル缶切断片の収納を行う前の一時保管を行うテーブルである。

- (b) 形 式 : 作業テーブル
- (c) 主要材質 : ステンレス鋼
- (d) 基 数 : 1 基



部番	名称	材質	数	備考
1	除塵器	SUS	1	
2	フィルタ(ハバ)	SUS	1	
3	排風機	AJ	1	
4	架台	SUS	1	

設計仕様	
設置場所	βγ放射化金属処理セル
台数	1式
形式	バクフィルタ+ハバ
取扱対象物	切断ヒューム
処理能力	15Nm <sup>3</sup> /min(最大)
捕集効率	99.9%
重量	500kg

図-5.51 ヒューム回収装置の概略構造図

#### 5.4.3 一部自動化システムの設備費

前項で明らかにした一部自動化システムの機器類を含めて設備費の試算をおこなった。  
なお、設備費検討における範囲は下記のとおりとした。この場合の設備費は、約810 百万円と試算できる。

- ① 切断物保持クレーン（回転機能付き）： 1基
- ② 切断台A、B： 2基
- ③ 切断フード： 1基
- ④ レーザトーチ作業ロボット： 1基
- ⑤ マニプレータ： 2組
- ⑥ ヒューム回収装置： 1式
- ⑦ 切断片保管テーブル： 1基
- ⑧ レーザ切断装置： 1式
  - ・レーザ発振器
  - ・レーザ電源装置
  - ・レーザ冷却器
  - ・光ファイバー
  - ・アシストガス供給装置
- ⑨ 自動切断制御盤（制御ソフト含む）： 1式
- ⑩ 据付け工事： 1式
- ⑪ 試運転調整費： 1式

#### 5.4.4 一部自動化システムのランニングコスト

5.4.2 項で検討した一部自動化システムを用いてハル缶の切断作業をおこなった場合のランニングコストについて検討した。検討条件は、平成6年度の報告書<sup>1)</sup>記載内容と同様とした。

##### (1) 検討条件

- ・ 切断処理量 : 350缶/年, 2または3缶/日
- ・ 運転日数 : 160日/年
- ・ 運転時間 : 6時間/日

##### (2) ランニングコストの試算

5.4.2 項で検討した一部自動化システムを用いて、ハル缶を切断した場合のランニングコストについて試算した。試算するためのレーザ条件及び各板厚に対する切断速度は、平成6年度の報告書記載内容とした。また、アシストガスの使用量についても同様とした。ランニングコストの試算に必要な電気使用量等をまとめて表-5.23に示す。ただし、アシストガスは酸素のみの場合とした。

なお、セル内照明、インセルクレーン駆動用電気量、工業用水（冷却装置用）、空気（弁駆動用等）は、施設内のユーティリティ設備から供給できることから一部自動化システムのランニングコストからは除外した。

この結果、一部自動化システムのランニングコストは、約3.5百万円と試算できる。



表-5.23 電気およびアシストガス等の使用量（ハル缶1缶あたり）（1/2）

切断箇所	1缶当たりの使用量		備 考			
	酸素 [Nℓ]	電気 [kWh]	ガス流量 [Nℓ/min]	切断速度 [mm/sec]	切断長 [mm]	切断時間 [min]
締付リング切断時	54	1.1	60	80	120	1.5
蓋補強リブ切断時	78	1.6	60	280	360	1.3
蓋外周部切断時	990	19.8	60	130	2142	16.5
胴部切断時	4180	26.4	190	640	12782	20.0
底板切断時	1044	20.9	60	130	2264	17.4
脚受板切断時	684	4.3	190	640	2289	3.6
冷却装置等の電気 (レーザー運転中の消費)	—	24	—	—	—	—
マニピュレータ用の電気	—	2	—	—	—	—
保持クレーンの電気	—	0.5	—	—	—	—
ロボット駆動用の電気	—	6	—	—	—	—

表-5.23 電気およびアシストガス等の使用量（ハル缶1缶あたり）（2/2）

品目（消耗品）	使用量
ノズルチップ	1個/月 × 12月 = 12個
ランプ（レーザー発振器）	4本/交換 × 12月 ÷ 3月/交換 = 16本
純水	60ℓ/交換 × 12月 ÷ 3月/交換 = 240ℓ
イオン交換樹脂	4ℓ/交換 × 12月 ÷ 6月/交換 = 8ℓ

## 6. まとめ、結論

1kW 級スラブ型 YAGレーザを光ファイバ伝送し、光ファイバ出射端に取り付けられたセンシング・制御機能を付加した加工用トーチをロボットで把持する構成で切断試験をおこなった。この結果、ワークの表面形状に応じてトーチが追従できることを検証できた。すなわち、実際の HWTF への適用において、ハル缶の自動レーザ切断の要素技術が実証されたことであり、さらに、この結果をもとに実施設の具体的構成についても検討した。

本試験によって得られた結果は、以下のとおりである。

### (1) センシング法の選択

数種類の距離センサの中で、SUS の YAGレーザ切断用としては、静電容量式センサが最適であることを確認した。

### (2) 追従性の検証

ハル缶の切断において困難と予想される箇所、つまり、段差、傾斜トーチの角度、湾曲の各課題を考慮に入れた模擬試験体を作成し、追従試験をおこない、表面形状に沿った追従性を検証した。

### (3) 追従切断の検証

締め付けリングの段差および斜め切断、補強板の斜め切断、湾曲板の切断等の正常切断条件ではない箇所の切断をおこない、追従切断できることを検証した。

### (4) 切断システム

ワークの表面形状に対応してトーチが追従できるという検証結果を踏まえて、ハル缶切断システム全体の具体的構想概念設計をおこなった。

## 7. 今後の課題

スタンドオフのセンシングとトーチの制御という今回の試験において、以下の課題が明らかになり、今後これらを解決していく必要がある。

### (1) 切断開始端部

切断開始箇所のワーク端部では、検出すべきワークが下方に存在しないために、トーチのセンシング部がワーク位置を通り越して、センシングできない状態になる。トーチが水平方向に移動して切断開始位置へ近づいたとき、制御できず衝突する。ワークよりも下方への、トーチ先端の動きを停止させる機能を付加する必要がある。

### (2) ドロスの噴出

締付けリングのように切断困難な箇所での現象として、ドロスのレーザ照射側への噴出が発生することがある。トーチ先端とワークとの間の静電容量でセンシングしている原理により、金属であるドロスの影響を受け、センシング・制御が不安定になる。したがって、ドロスの噴出がないような確実な条件、たとえば、切断速度を遅くするなどの対策により、切断をおこなう必要がある。

### (3) アシストガス空気による切断

HWTFに本装置を適用する場合、セル内に設置する機器となる。この場合、セル内での火災、粉じん爆発の点から、これらを防止する構造、および要因の除去が設計上要求される。現状のレーザ切断装置では、切断能力向上の点から酸素をアシストガスとして採用している。しかし、上記の点から極力、火災、粉じん爆発の要因を除去できれば施設の安全上向上の点から好ましい。また、消耗品コストの点から見ても施設のユーティリティとして準備されているものを利用するのが有利と言える。

このことから、アシストガスを空気とした場合のステンレス鋼板の切断特性を把握しておく必要がある。

## 参考文献

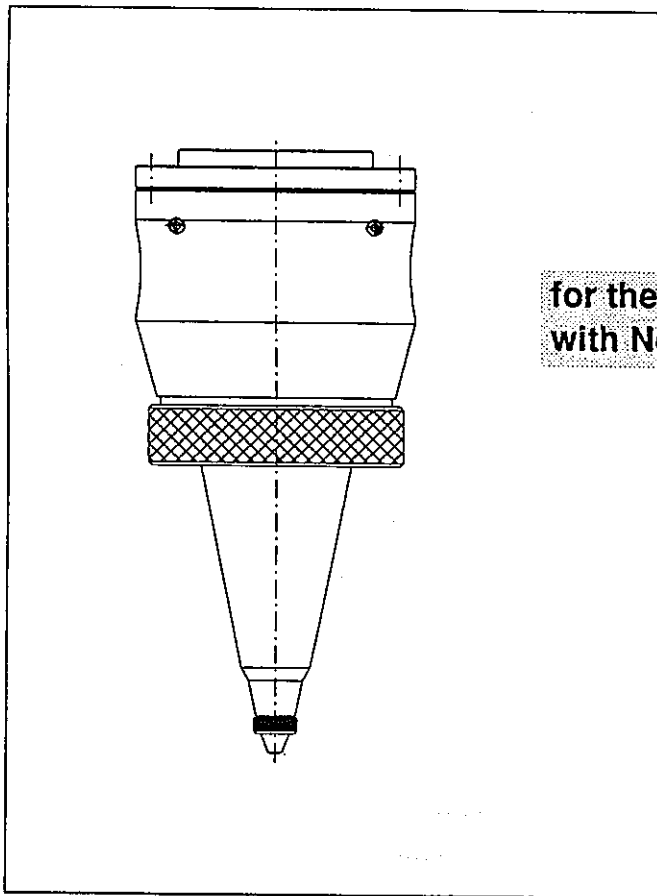
- 1) 新田, 葛西他, YAGレーザによるハル缶切断試験 : 動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書 (PNC ZJ8068 95-001 ), (1995)

## 添付資料

- ① 静電容量式センサのカタログ
- ② 切断時の温度測定結果について

## 添付資料

- ① 静電容量式センサのカタログ
- ② 切断時の温度測定結果について



## Lasermatic® Z

# Cutting Head K52

for the Contactless Distance Control  
with Nd:YAG-Laser Beam Cutting Machines

- 3D-cutting with Nd:YAG-lasers
- especially slim design
- low weight
- lens diameter up to 52 mm
- focal lengths of 80 mm and 120 mm
- vertical and horizontal lens adjustment with unchanged tool centre point
- small measuring spot
- other versions on request

The cutting head K52 is used for the distance controlled 3D-cutting of thin sheets with Nd:YAG-lasers. It has been worked out precisely, it is rugged, easy to maintain and to adjust.

The cutting head K52 sets to a standard with two focal lengths as a future orientated, economical solution for the cutting with Nd:YAG-lasers. The components of the modular cutting head can easily be combined and completed, and can cheaply be adjusted to customer specific applications.

A low weight and an optimum slim design are the specific constructional features of the cutting head K52. The position of the tool center point (orifice of the nozzle electrode) is not changed when changing the axial focal position. All adjustments can easily be effected from the outside.

The cutting head K52 is operated with the Lasermatic® Z electronics.

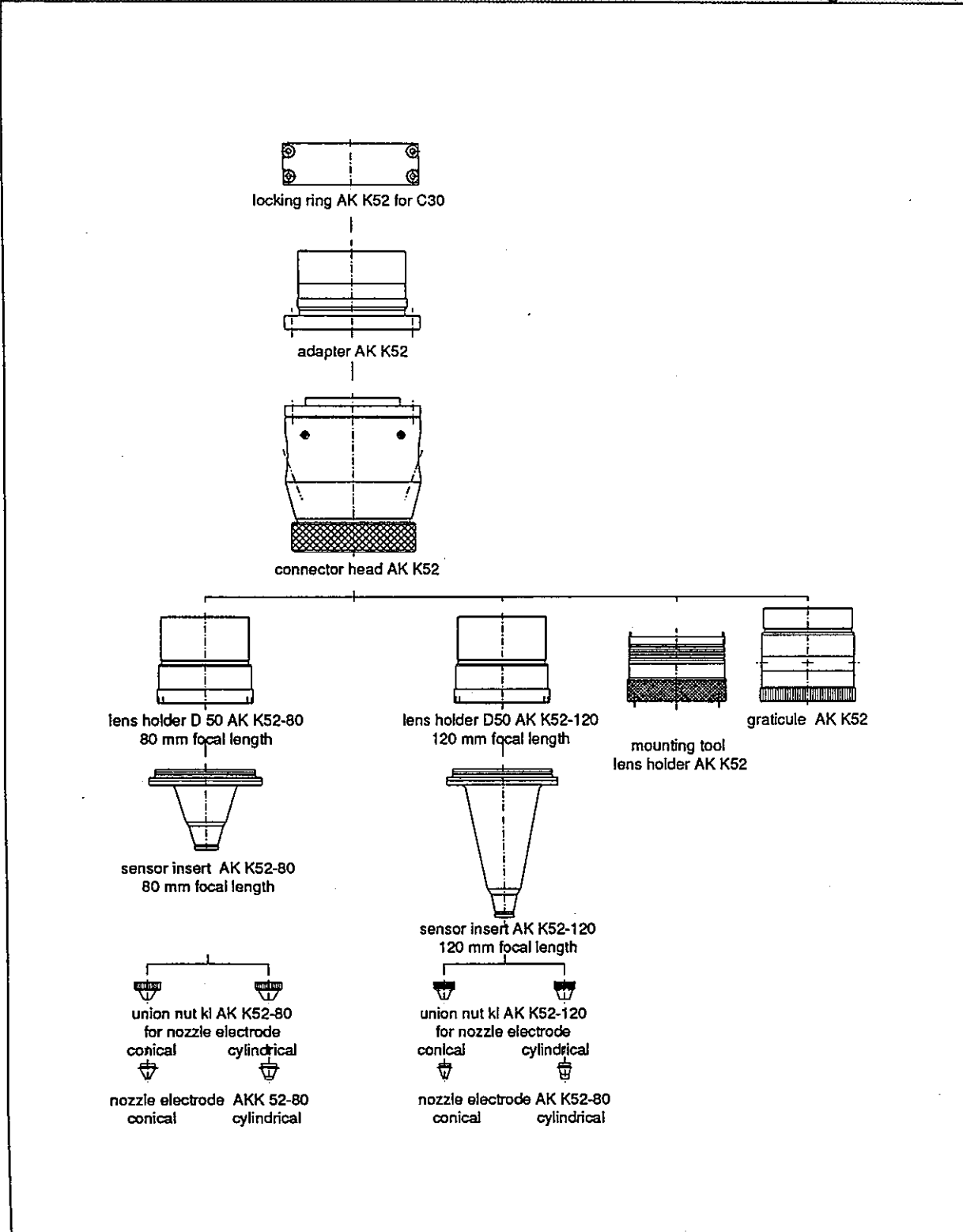
For the configuration of a distance control circuit, the following Lasermatic® Z system components are recommended:

- sensor box 311
- adjust box EG 315
- motor controller M 825
- axis C30

We will be pleased to send you further technical information about these products on request.

System Survey

Cutting Head K52



**Connector Head with Focusing Optics**

The cutting head K52 is mounted into the beam path behind the collimator. The basic part is the connector head with the lens mount and the focusing lens. Lenses with a diameter of up to 52 mm can be used. The centring of the lens is made with 4 screws which are positioned crosswise. The centring range is ± 1 mm in both directions. The vertical focal position can be changed by displacing the lens with the lens mount between -4 mm and +5 mm. If requested, the lens mounts can be adapted to specific lens diameters. The optionally available mounting tool enables an easy exchange by keeping the centring after having opened the cutting head.

For the opening, the sensor insert must be unscrewed below the connector head. Thus the protective glass is also accessible which can easily be removed from the sensor insert for cleaning and exchanging purposes. The adjustments of the lens and of the cutting head are not affected in this case.

**Nozzle Body and Accessories**

Corresponding to the focal length of the focusing lens, an appropriate lens mount and an appropriate sensor insert must be used. As per standard, those components are offered for 80 mm and 120 mm focal lengths.

For each sensor insert, two different nozzle electrodes are available with appropriate union nuts which can be used alternatively. The available designs of the nozzle electrode

and the diameters of the cylindrical nozzle (orifice of the nozzle electrode) can be seen in the ordering information.

**Cutting Gas**

The cutting gas feed and the connecting socket for the electrode cable are positioned directly at the connector head.

Simultaneously the lens and the protective glass are cooled by the cutting gas. A pressure compensation between the top and the bottom side of the protective glass reduces its load so that - compared with conventional cutting heads without a pressure compensation - decisively thinner protective glasses can be used.

**Connecting Possibilities**

A fastening to a customer specific connecting flange at the laser tube or collimator is possible via 4 M4 borings in the connector head.

Alternatively, the connecting adaptors AK K52 with the female threads M58x1 or M58x0.5 are available.

The connecting borings and the connecting thread can be changed according to customer's requests.

The clamping ring AK K52 C30 which is fixed from the outside onto the connecting adaptor enables the adaptation to the precitec axis C30.

Technical Data		Cutting Head K52	
	80/K52	120/K52	
Focal length	80 mm	120 mm	
Lens diameter	50 mm	50 mm	
Free aperture, max.	48 mm	48 mm	
Nozzle standoff distance $z_n$			
recommended	0.3...5 mm	0.3...5 mm	
possible <sup>1)</sup>	0.3...10 mm	0.3...10 mm	
Measuring spot radius ( $z_n = 1 \text{ mm}$ ) <sup>2)</sup>	2 mm	2 mm	
Lateral sensitivity ( $z_n = 1 \text{ mm}$ ) <sup>3)</sup>	2 mm	2 mm	
Measuring resolution <sup>4)</sup>	<0.01 mm	<0.01 mm	
Fixing dimensions	4 x M4, ø73 mm, depth 5 mm	4 x M4, ø73 mm, depth 5 mm	
Connector head AK K52, internal thread	M58x1 or M58x0.5	M58x1 or M58x0.5	
Cutting gas connection	M5	M5	
Pressure retaining strength	20 bar	20 bar	
Connector for sensor cable	MCX	MCX	
Adjusting range:			
horizontal	± 1 mm	± 1 mm	
vertical (max.)	-4...+ 5 mm	-4...+ 5 mm	
Length, axial <sup>5)</sup>			
Mass	approx. 1.1 kg	approx. 1.1 kg	
Operating temperature	10...80 °C	10...80 °C	

<sup>1)</sup> Deviations from the recommended nozzle standoff distance require an adjustment of the loop amplification.  
<sup>2)</sup> The measuring spot radius is the distance between the center of the nozzle (TCP) and the workpiece edge which shows a distance reduction of 0.1 mm.  
<sup>3)</sup> The lateral sensitivity is the distance between the center of the nozzle (TCP) and an obstacle with an inclination of 45° which shows a distance increase of 0.1 mm.  
<sup>4)</sup> In the recommended nozzle standoff distance range.  
<sup>5)</sup> Axial length from the nozzle tip to the upper edge of the connector head in the standard configuration and with the vertical adjustment in zero position.



**Compatibility**

The cutting head K52 is compatible to any unit of the Lasermatic® Z system electronics.

**Service**

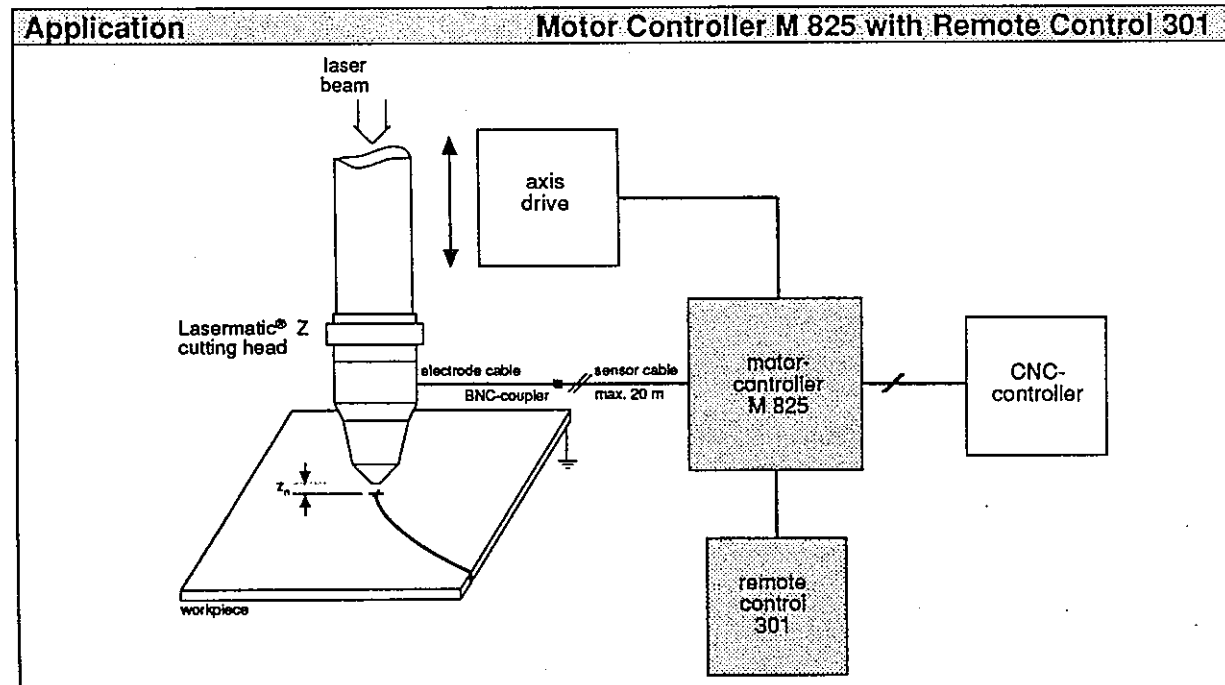
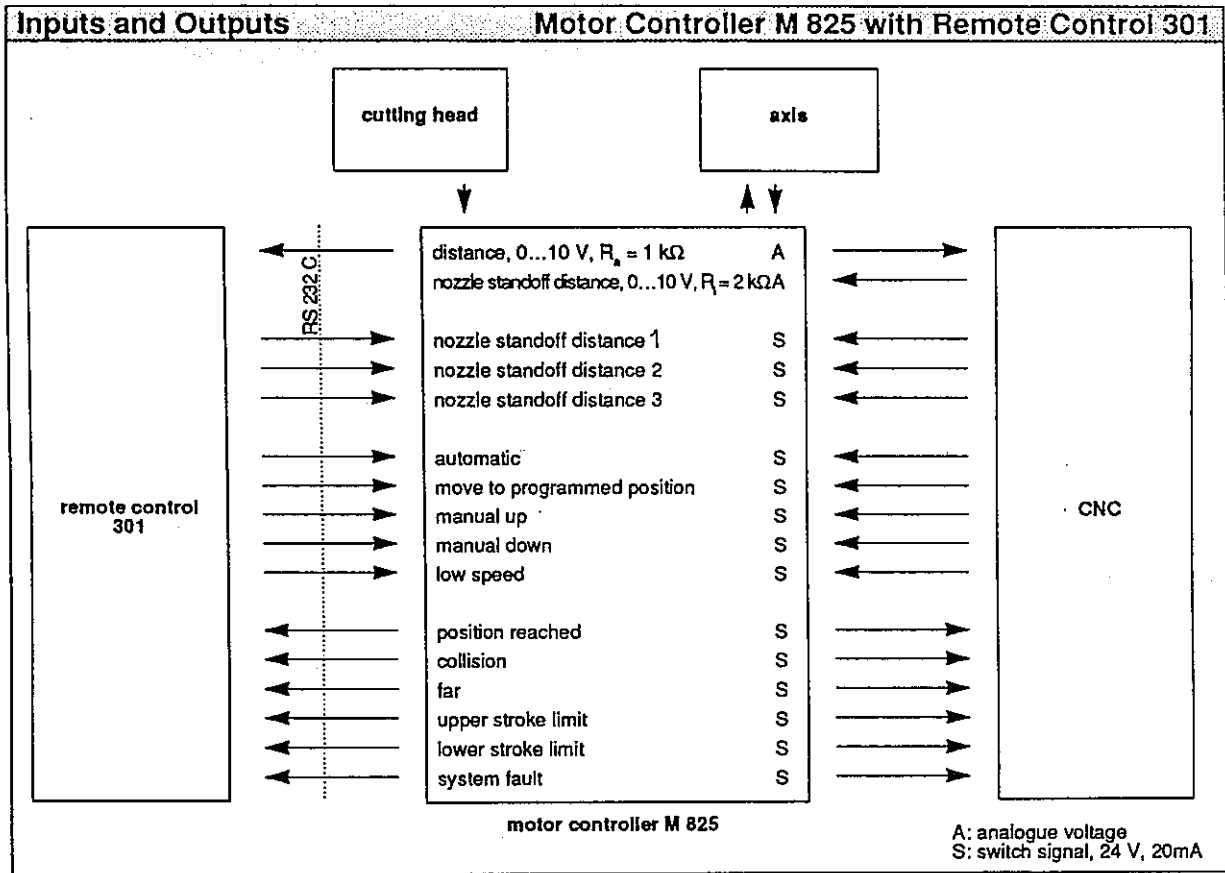
For the cutting head K52, customer specific adaptations for the lens mount, the nozzle body and for the connecting adaptor are offered.

Ordering Data		Cutting Head K52	
Designation	Order Number		
	Cutting Head 80/K52 focal length 80 mm lens ø50 mm	Cutting Head 120/K52 focal length 120 mm lens ø50 mm	
Connector head AK K52	281210	281210	
Lens holder 50 AK K52	281239	281212	
Sensor insert AK K52	281240	281214	
Nozzle electrode AK K52 conical, cylindrical nozzle 3 pieces per package, max. nozzle diameter ø1,5 mm			
nozzle:			
ø1,0 mm	281243	281237	
ø1,5 mm	281242	281217	
Union nut kl AK K52 for nozzle electrode, conical	281241	281215	
Nozzle electrode AK K52 cylindrical, cylindrical nozzle 3 pieces per package, max. nozzle diameter ø3 mm			
nozzle:			
ø1,5 mm	281245	281218	
Union nut kl AK K52 for nozzle electrode, cylindrical	281244	281216	
<b>Accessories</b>			
Mounting tool AK K52 for lens holder	281213	281213	
Graticule AK K52	281219	281219	
Adapter AK K52 for collimator			
internal thread:			
M58x1	281211	281211	
M58x0,5	281238	281238	
Locking ring AK K52 for C30	281246	281246	
Lens AK K52 f = 80 mm	281265		
Lens AK K52 f = 120 mm		281266	
Protection glass AK K52	281265	281265	

grey underlayed: standard configuration

Subject to change without notice





### System Description

The Lasermatic® Z motor controller M 825 together with a Lasermatic® Z cutting head and a precitec axis allow to construct a control circuit which controls the distance between the cutting nozzle and the workpiece surface to a fixed nozzle standoff distance  $z_n$ .

The Lasermatic® Z cutting heads are equipped with a capacitive distance sensor which is directly connected to the sensor unit of the motor controller M 825 via the electrode cable and the sensor cable.

Distances between 0.1 mm and 10 mm can be measured with a resolution of 0.1% of the upper range limit. In order to control the measuring range limits, the adjusting range for the nozzle standoff distance has been limited to 0.3... 9.7 mm. The temperature drift of the sensor is, e.g. with the cutting head 2.5"CM/MG, less than 0.05 % / K of the upper range limit, resp. a maximum of 1.4  $\mu\text{m/K}$  with 1 mm nozzle standoff distance.

The distance signal is linearised and compared to the preadjusted value of the nozzle standoff distance. The resulting control signal is internally transmitted to the motor amplifier which can drive DC-brush motors of up to 30 V / 5 A. The motor controller M 825 is equipped with evaluation possibilities for the position transducer, the tachometer and the limit switches. Digital PID-controllers enable an easy optimisation of the control dynamics. Alternatively an IxR-compensation is available.

The motor controller M 825 is programmed with the optionally available remote control 301.

Three different working distances between 0.3 mm and 9.7 mm can be preadjusted in 0.1 mm steps which can be switched over between one another according to the working situation. The working distance (nominal clearance) and the actual distance (actual clearance) are displayed on the remote control. Thus, the remote control offers simultaneously a practical aid when manually moving and positioning the axis.

If the distance of the nozzle electrode corresponds to the preselected nozzle standoff distance, *position reached* is displayed on the remote control. If it is out of the measuring range, *far* is displayed.

The moving speed of the motor drive is also adjusted via the remote control. An additional slow mode is also available.

The Lasermatic® Z is able to detect a collision of the nozzle electrode to release a stopping of the motor drive or an escape movement. To suppress the reactions to material spatters, the escape movement can

be delayed. The delay time may be a maximum of 1020 ms. It can be adjusted in a step width of 4 ms via the remote control. For different working situations, different delay times can be preselected.

### CNC-Connection

The motor controller M 825 can be connected to a CNC-controller via a remote interface with an electric isolation. The transmission is effected with 24 V / 20 mA switch signals. Additionally, two analogue signals (0...10) are transmitted. One of them transmits the actual distance to the CNC, the other one is used to adjust the nozzle standoff distance by the CNC-controller.

### Calibration of the Distance Sensor

As, due to the measuring principle, different cutting heads have different non-linear characteristics, the motor controller M 825 offers in combination with the remote control 301 the possibility of calibrating and memorising up to 55 characteristics. At any time, the characteristics can be deleted or overwritten.


The calibration process and the characteristic administration are supported by the remote control 301. With the exception of the movement to the reference points, it is an automatic process.

### Cable Connections

For the signal transmission between the cutting head and the motor controller M 825, highly flexible cables are available with a flexional resistance of more than 500 000 cycles. The minimum bending radius is 30 mm. For the connection, a short electrode cable and a long sensor cable are necessary. Both cables are interconnected via a BNC-coupler. The coupler can be fastened to the machine by means of a mounting angle. Thus the electrode cable which is directly connected to the cutting head can easily be exchanged as a wearing part, whereas the sensor cable can be integrated into the machine.

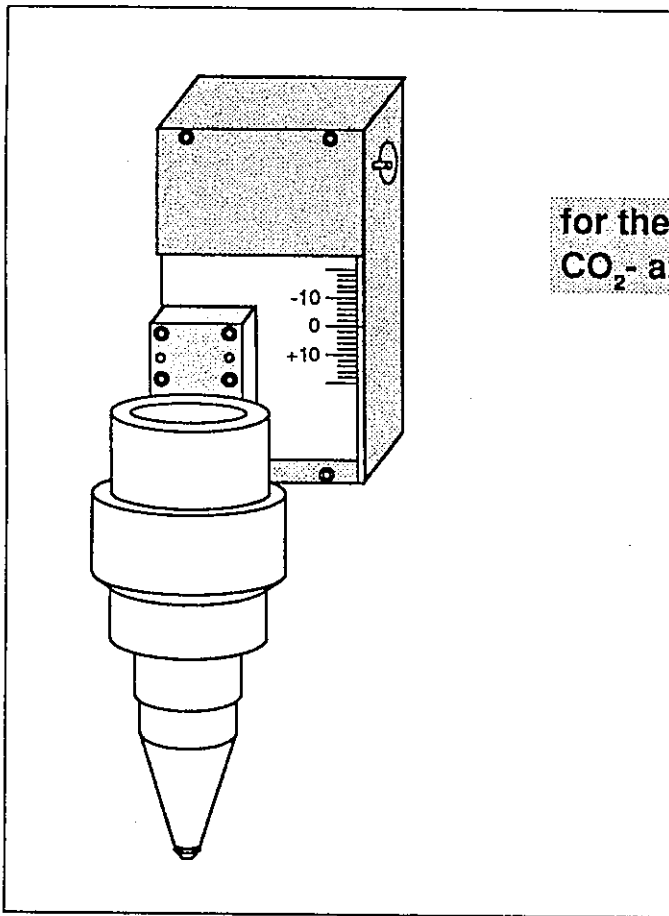
When using sensor cables of less than 10 m, an optional adaptor for short cables must be connected to the clearance adjust box.

Technical Data		Motor Controller M 825 with Remote Control 301
<b>Motor controller M 825</b>		
Measuring range		0.1...10 mm
Resolution		typ. 0.1% of the upper range limit
Frequency range		0...100 Hz
Controller		digital position controller with 1 ms cycle time, PID-parameters can be configured
Supply voltage		230 V, 2A, 50 Hz 115 V, 3,15 A, 60 Hz
Dimensions of the 19" rack (bxhxd)		483 mm x 129,5 mm x 265 mm
Mass		approx. 8 kg
<b>Connections for the motor drive</b>		
DC-brush motor		
nominal voltage, DC		30 V, max.
nominal current, DC		5 A, max.
pulse		12.5 A
Speed feedback		tachometer or IxR compensation
Displacement transducer		LVDT
Limit switches		upper, lower, center
<b>Remote control 301</b>		
Interface		RS 232 C, 9-pol. Sub-D pin connector
Mass		0.3 kg, without connecting cable
Dimensions (bxhxd)		99 mm x 26 mm x 210 mm

Ordering Data		Motor Controller M 825 with Remote Control 301
Designation	Ordering Number	
Motor Controller M 825	281104	
Remote Control 301	280986	
Electrode cable Z		
length:		
150 mm	280997	
200 mm	280996	
500 mm	280995	
Sensor cable Z		
length:		
20 m	280992	
15 m	280993	
10 m	280994	
5 m	281027	
2 m	280028	
BNC-coupler Z, insulated	280998	
Mounting angle for cable coupler Z	280999	
Adapter for short sensor cables Z	281078	
<b>Spare parts</b>		
19" rack M 825	281201	
Sensor-unit	280933	
µC-unit	281199	
I/O-unit	281200	
Motor amplifier	280599	
Motor matching	280600	
Power supply	280601	
 grey underlayed: standard configuration		Connecting cables for the CNC do not belong to the scope of supply.

Subject to change without notice

precitec GmbH, Draissstr.1, D-76571 Gaggenau-Bad Rotenfels, Germany, Phone: (0)7225-684 - 0, Fax: (0)7225-684 - 900



## Axis C30

for the High-Dynamic Cutting with  
CO<sub>2</sub>- and Nd:YAG- Lasers

- 30 mm stroke
- high dynamics
- Increase of the machine flexibility and reduced programming time

The C30 axis enables the sensor controlled fine correction of the distance between the cutting head and the workpiece in robots and flat-bed machines for the compensation of dimensional deviations of the workpieces or position tolerances in the direction of the laser beam axis.

In combination with the precitec motor controllers M 751 or M 825, the C30 axis can be operated independently of the CNC-machine controller.

The C30 axis is equipped with a slide construction with a ball bearing spindle drive and a displacement transducer (LVDT). The spindle is driven via a toothed belt by a 24 V DC-motor whose rotational speed is detected by a tachometer generator. Due to the integral displacement transducer, the position of the axis can be monitored during the machining process.

The motor drive is mounted to the machine by means of four mounting borings. Additional set borings enable

an exact fixing.

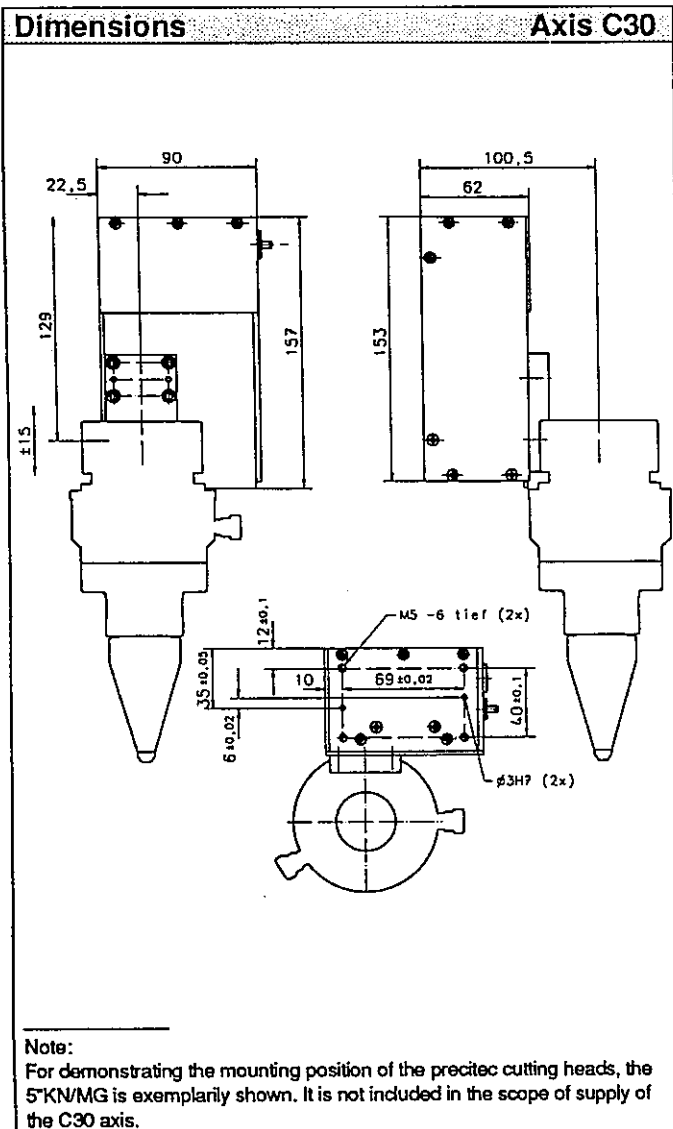
For the connection of the cutting head, four thread borings (M4) are provided. Adapters for the Lasermatic® and the Lasermatic® Z cutting heads are attached.

Different mounting positions are provided by the 4 thread borings (M8x8) each in the back and side plate. The cutting head can be screwed to a flange with a connecting thread of M40x1.

Lasermatic® and Lasermatic® Z System Accessories:

- cutting heads
- motor controllers

We will be pleased to send you further technical information about these products on request.



**Technical Data Axis C30**

Stroke	±15 mm
Carrying power	35 N
Dynamics, operating load ≤ 3 kg	
max. speed, up or down	approx. 300 mm/s
max. acceleration	approx. 10 m/s <sup>2</sup>
Motor drive	
DC-motor with tachometer	
nominal voltage	42 V DC
nominal current	2,3 A
Tachometer	
Tachometer constant	0.52 V / 1000 rpm
Displacement transducer	
operating voltage	±15 V
output voltage	-6 V...+6 V
with ±15 mm stroke	
linearity	±0.3 %
Protective class	IP 50
Fixing dimensions	4 x M5, depth of engagement 6 mm
Mass	1.8 kg
Dimensions (BxHxT)	90 mm x 153 mm x 62 mm

**Ordering Data Axis C30**

Designation	Order Number
Axis C30	280966
Connecting cable C30:	
length 5 m	281120
length 10 m	281119
length 20 m	281118
length 30 m	281121

Subject to change without notice

### 切断時の温度測定結果について

#### 1. 目的

切断時のワークの温度上昇の測定、およびスタンドオフの大きな遠方からレーザー照射したときのワークの温度上昇の測定をおこない、安全性に対するバックデータを取得する。

#### 2. 試験装置

1kW 級スラブ YAGレーザーをファイバ伝送し、切断フード（約1.2m<sup>3</sup>）内に設置された板厚4mm のSUS 304 をワークとした。

温度の測定には、アルメルクロメルの熱電対を使用し、レーザー照射裏面にあけたφ2mm、深さ3mm の穴に挿入し、固定した。レーザー照射側では、レーザーパワー自体の影響を受けて、温度の測定ができないと判断したためである。

#### 3. 試験方法

##### (1) 切断時のワークの温度上昇

ワークの大きさは 300×300mm とした。切断する箇所（切断線）と温度測定箇所とを図 1に示す。端部から 50mm の位置で、昨年度得られた SUS 304板厚 4mmの切断条件で切断し、ワーク中央で、かつ切断線からそれぞれ 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200mm 離れた箇所の時間的溫度変化を測定する。なお、切断フード内からの排気量は 240L/min とする。

##### (2) スタンドオフの変化によるレーザー照射面温度上昇

ワークの大きさは同じく 300×300mm とし、中央部裏面に設置した熱電対の正面へレーザーを 90 秒間照射する。このとき、スタンドオフを 50, 100, 150, 200, 300mm と変化させて時間的溫度変化を測定する。なお、切断はおこなわないが、切断時と同様のレーザー照射条件とし、アシストガスも噴射させる。切断フード内からの排気量は 240L/min とする。



#### 4. 試験結果

##### (1) 切断時のワークの温度上昇

切断速度は 800mm/minであり、切断に要した時間は 22.5sであった。多点ペンレコーダで記録したチャートを図 2に示す。何箇所の時間での値を取り出してまとめた時間経過の温度を表 1と図 3に示す。

表 1 切断線からの距離によるワークの表面温度変化 (初期温度 : 20°C)

切断線 からの 距 離[mm]	経過時間 [min] / 温度 [°C]								最高温度	
	0.5	1	2	3	5	10	20	25	温度 [°C]	到達時間 [min]
5	98	75	56	48	39	30	24	23	125	0.25
10	77	69	54	46	39	30	24	23	76	0.5
20	47	54	49	45	38	30	24	23	54	1.8
30	28	37	41	40	36	30	24	23	41	2
50	23	25	30	32	32	28	24	23	33	3.75
100	21	21	21	22	23	24	22	21	24	7.5
150	21	21	21	21	21	21	21	21	21	~10
200	21	21	21	21	21	21	21	21	21	~10

上表から、切断線にもっとも近傍の 5mmの位置では、最高温度が 120°Cに達するが、10分以上経過すればワークの表面温度は 30 °C以下となりグローブでも取り扱うことができることがわかる。また、切断線から 100mm以上離れた箇所では、切断による入熱の影響をほとんど受けないといえる。これらから、切断終了後 30 秒以上経過すれば、切断線から

50mm 以上離れた箇所であれば、グローブ等での取り扱いができることがわかった。

図 3はプロット数が少ないために実際とは異なった温度変化の曲線となっているが、全体の傾向としてはわかる。切断線から遠ざかるに従って、最高温度に到達する時間が多くかかり、かつその温度が低下している。熱伝導や放射損から考慮されるとおりの結果が得られた。

(2) スタンドオフの変化によるレーザ照射面温度上昇

誤動作等を考慮したスタンドオフの大きな場合を想定して、90秒間のレーザ照射のみによるワーク表面の温度変化を測定した多ペンレコーダのチャート結果を図 4に示す。ただし、図 4 (d)のグラフの内 100mmのデータは温度が低いので以降のデータには、載録していない。全体を経過時間に対してまとめて表 2に、また数個のデータを読み取って図 5に示す。

表 2 スタンドオフによる温度変化 (初期温度 : 20℃)

スタンド オフ [mm]	経過時間[s] / 温度 [°C]						照射面状況
	10	15	20	30	60	90	
300	100	150	180	230	340	365	照射後, ごく薄い茶色.
200	160	250	280	350	435	465	照射後, 薄い茶色.
150	180	325	340	400	480	510	照射後, 茶色.
100	285	450	450	560	660	695	照射中, 表面に赤いスポット.
50	730	820	835	880	>910	>910	照射開始と同時に赤いスポット.

スタンドオフとして 300mm離れた位置においても 90 秒後には 365℃にまで達した。スタンドオフを小さくするにつれて次第に到達温度は高くなり、50mmでは熱電対が影響を受

け、910℃近辺で飽和している。スタンドオフ 50mm 以外では、カーブフィットした指数関数に良く合致していることがわかる。

## 5. まとめ

切断時におけるワークの温度上昇の時間的变化、および切断できないくらい遠い位置に加工用トーチがあるときのレーザ照射時のスタンドオフの違いによる温度の時間的变化を明らかにできた。

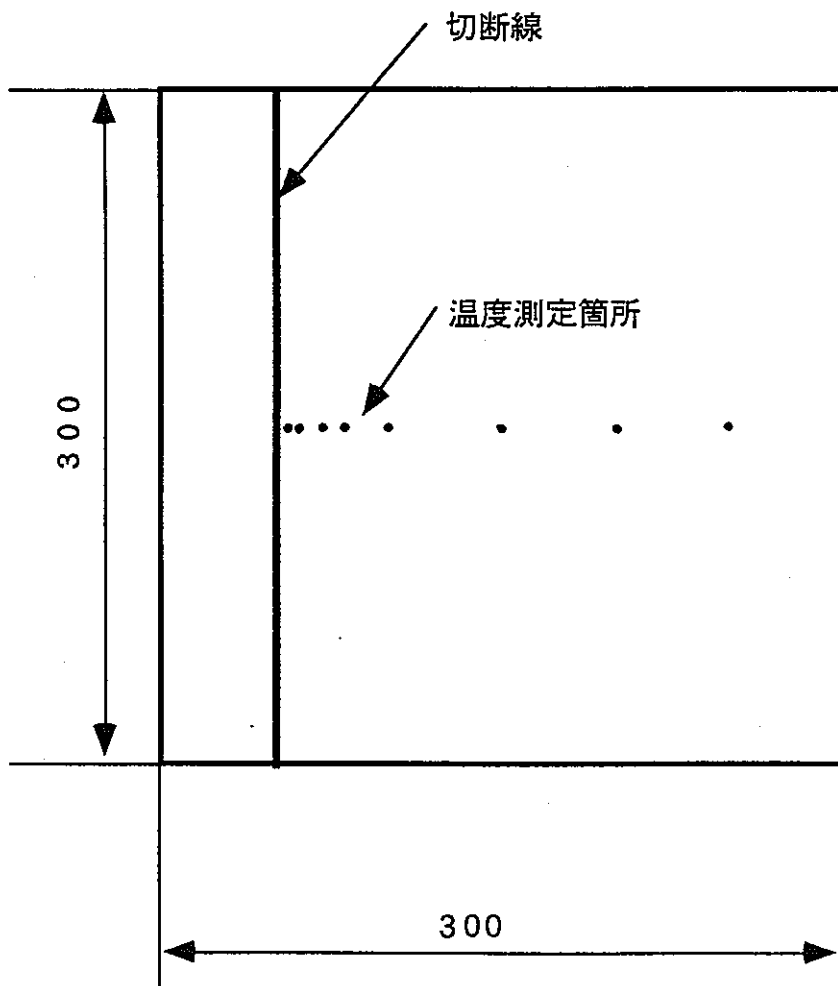


図 1 切断線と温度測定箇所

図 2 切断時の温度変化

(a) 切断線からの距離 5, 20mm

付一②(5)

経過時間 (min)

温度 (°C)

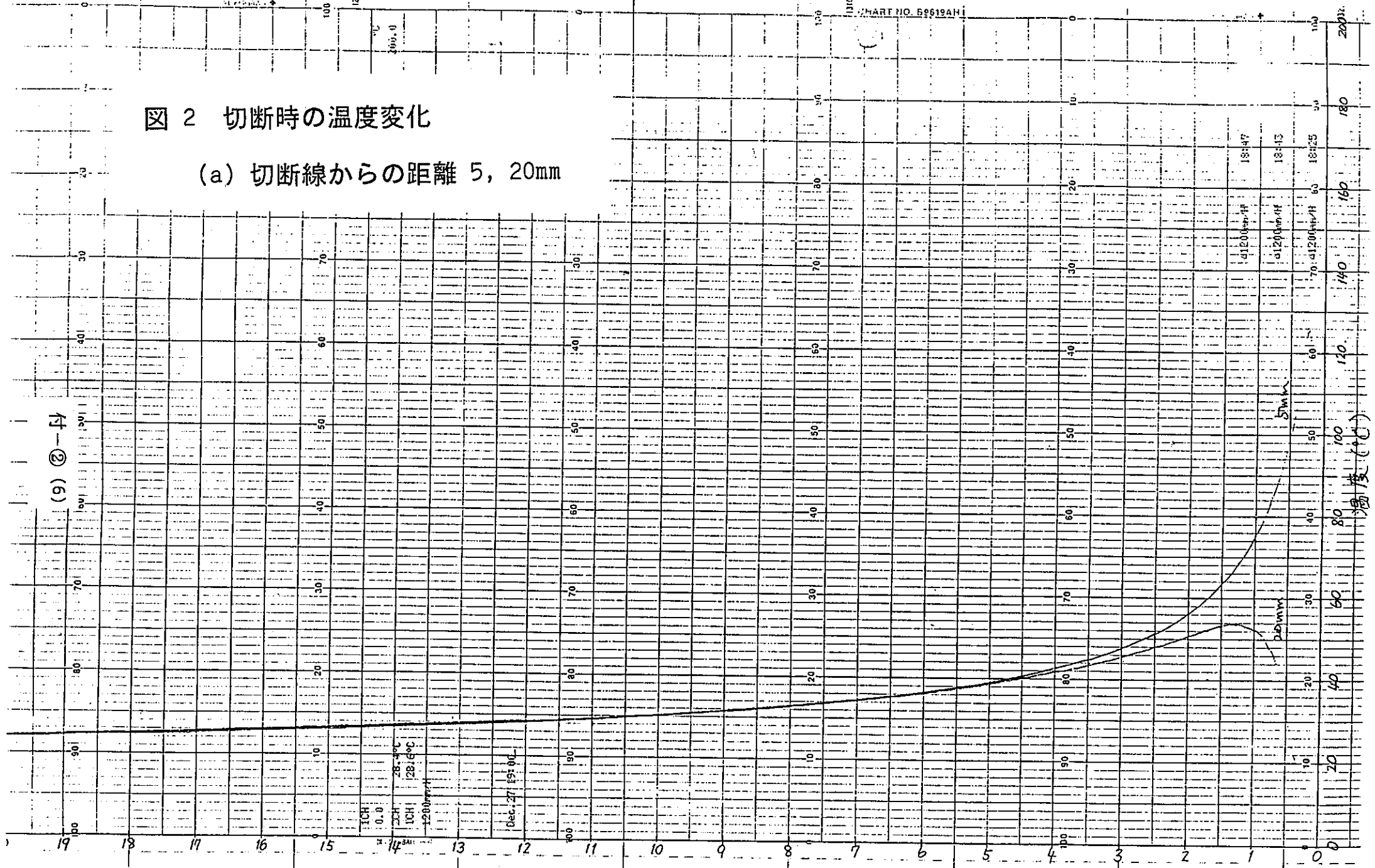


CHART NO. 59612AH

127  
100.0

18.47  
18.13  
18.25

5mm  
20mm

200.0

180

160

140

120

100

80

60

40

20

0

0

0

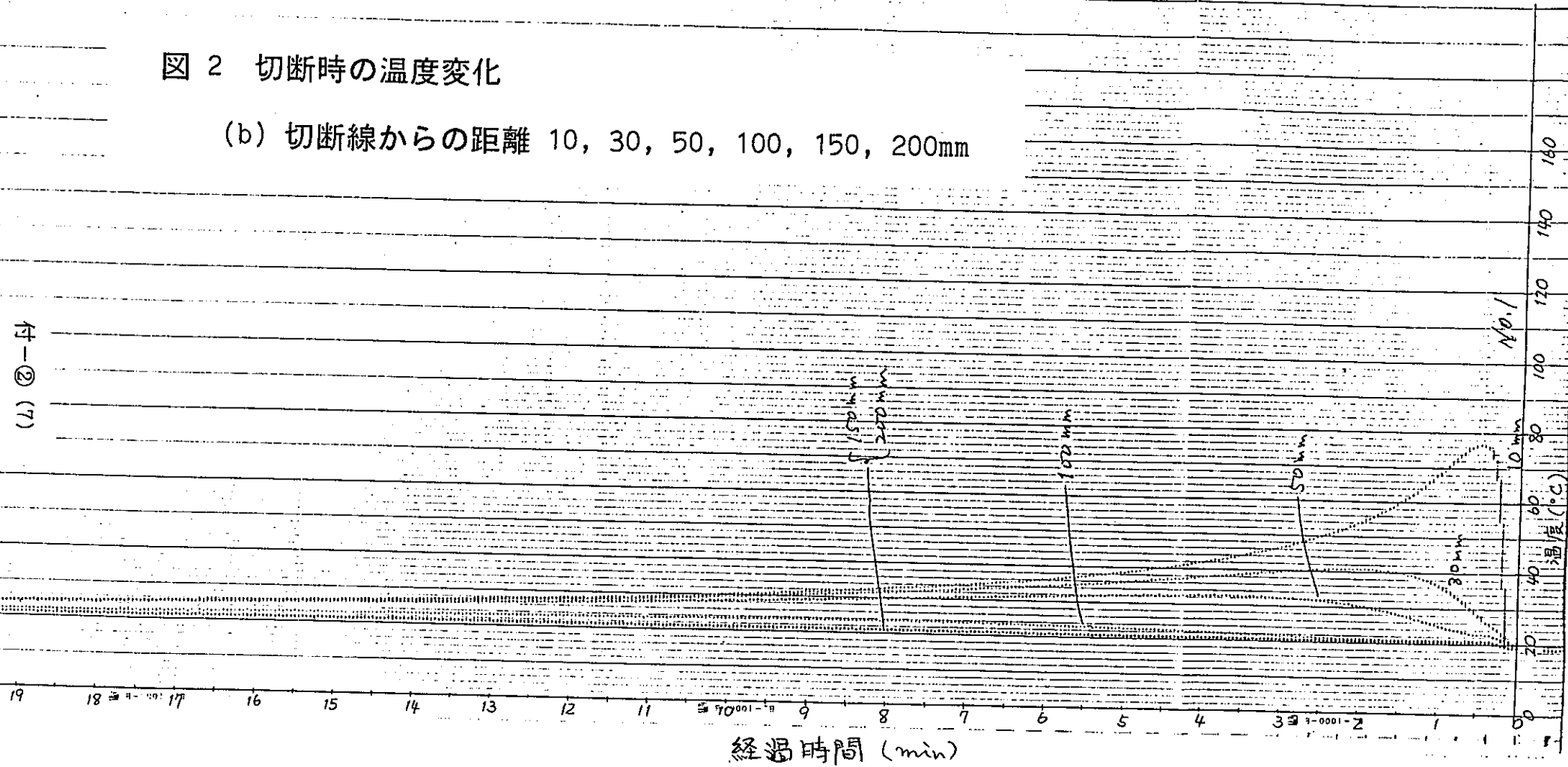
TIC: 28.28°C  
120.0mm/H

Dec. 27 1950

図 2 切断時の温度変化

(b) 切断線からの距離 10, 30, 50, 100, 150, 200mm

付-② (7)



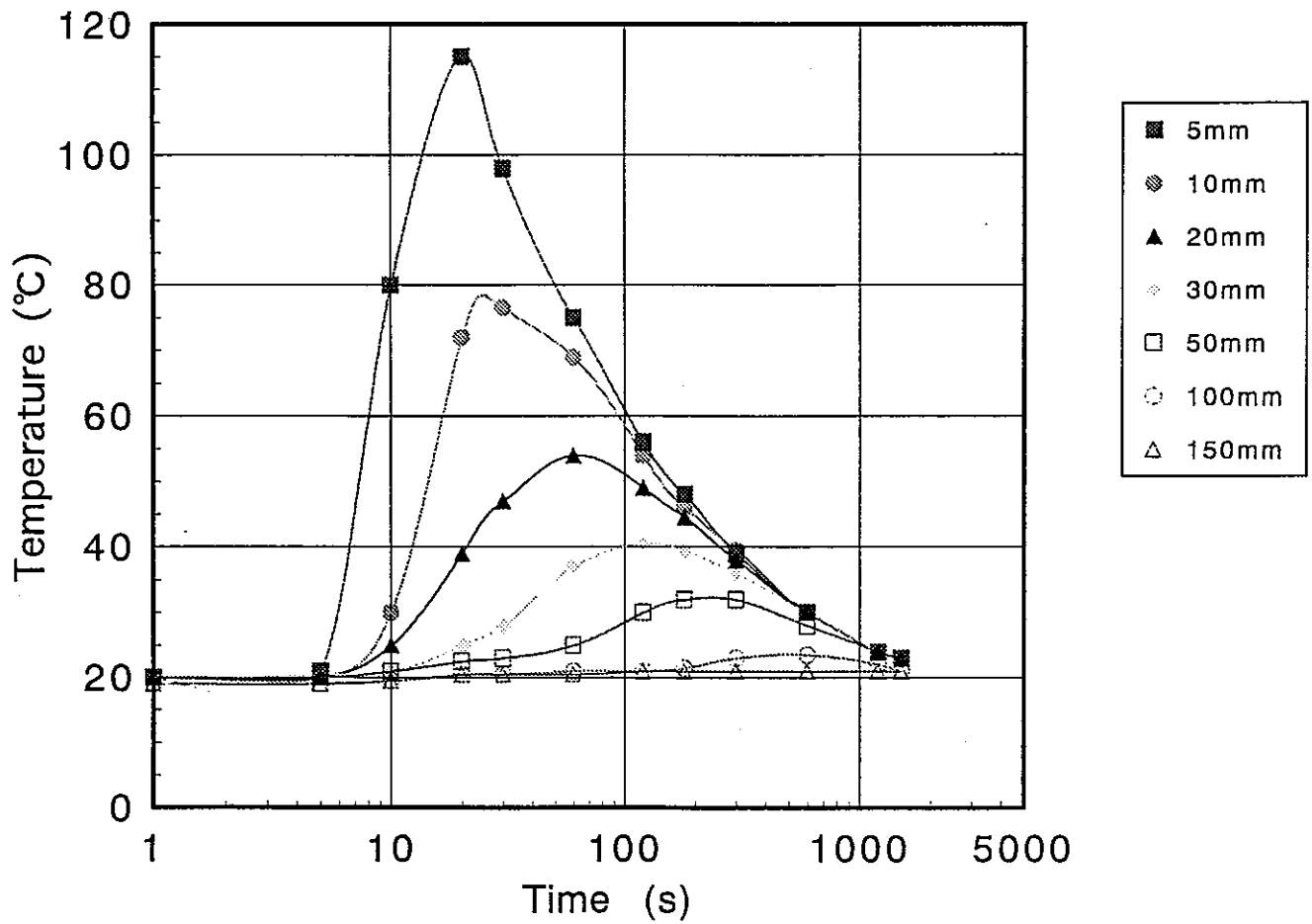
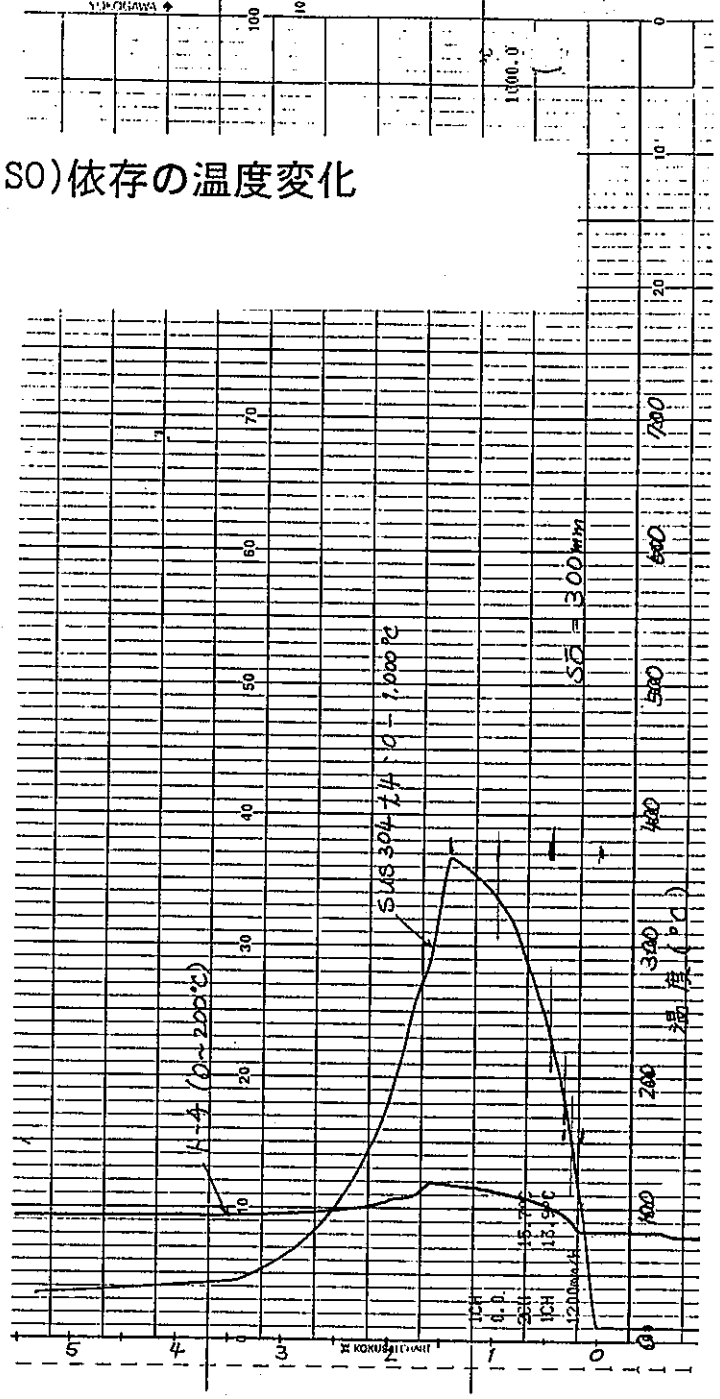


図 3 切断線からの距離による温度変化

図 4 スタンドオフ(SO)依存の温度変化

(a) SO=300mm





付一② (10)

図 4 スタンドオフ(SO)依存の温度変化

(b) SO=200mm

この空色に着色

1000, U  
15.8°C  
53.4°C  
12.56mm/H

Dec. 28 10:40

経過時間 (min)

09:51  
09:28

スタンドオフ + 200mm (SO)

160°C/10s  
200°C/20s

温度 (°C)

SUS 304 L + 200mm

流速: 1/200 mm/min  
温度範囲: 0-100°C

1985. 12. 28

Stand off Test

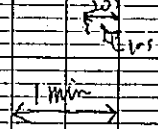
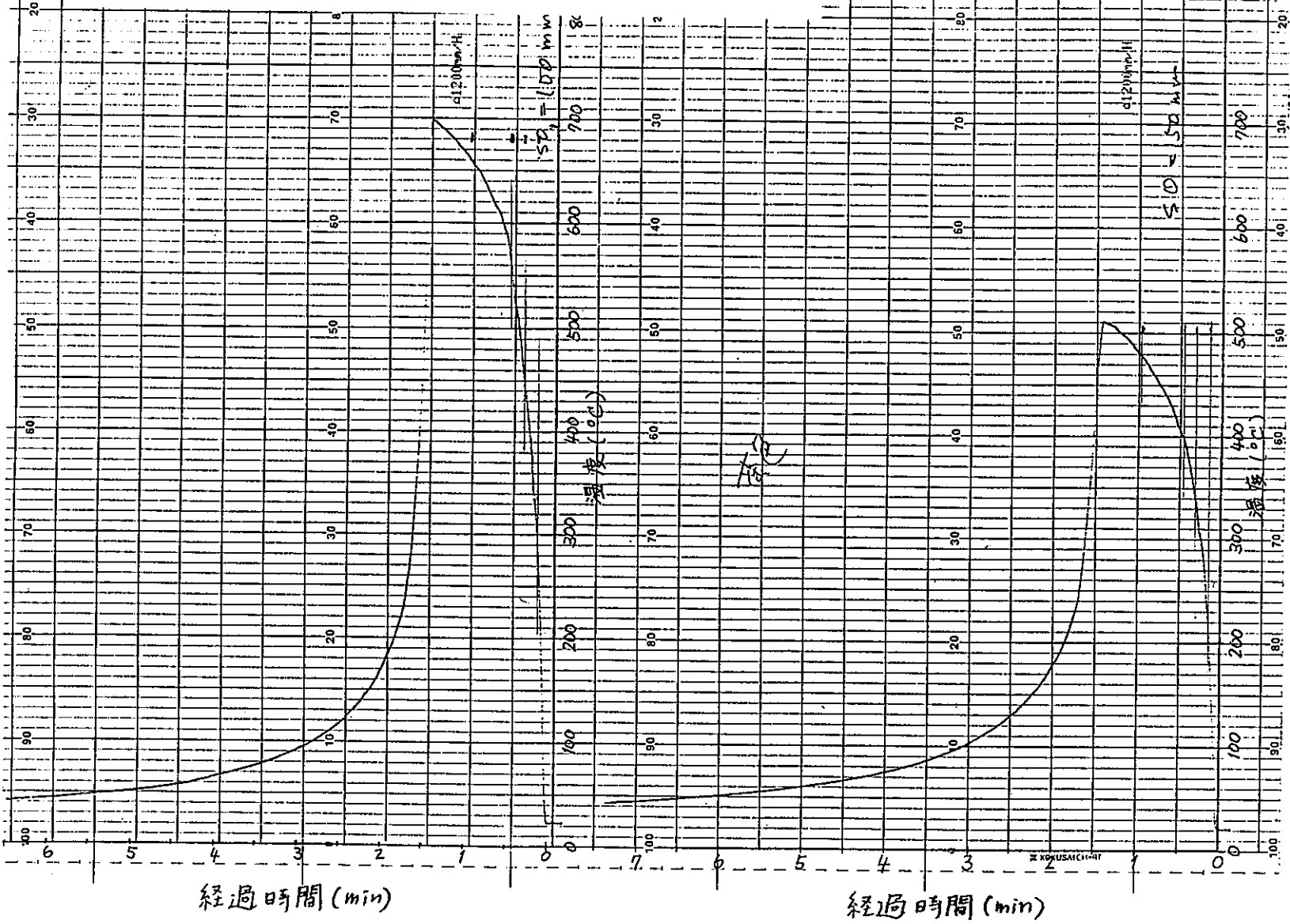


図 4 スタンドオフ(SO)依存の温度変化

(c) SO=150, 100mm



付一② (11)

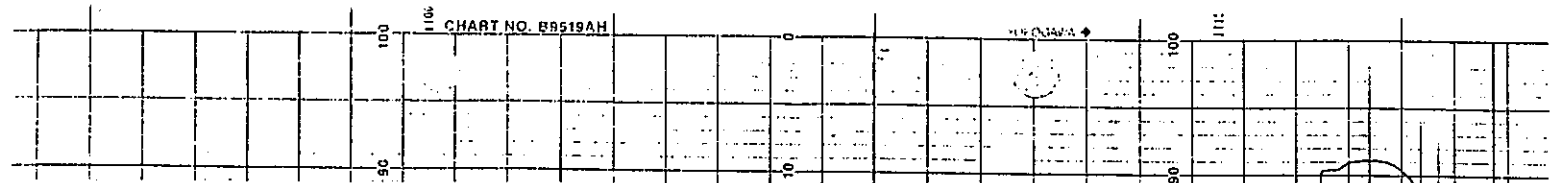
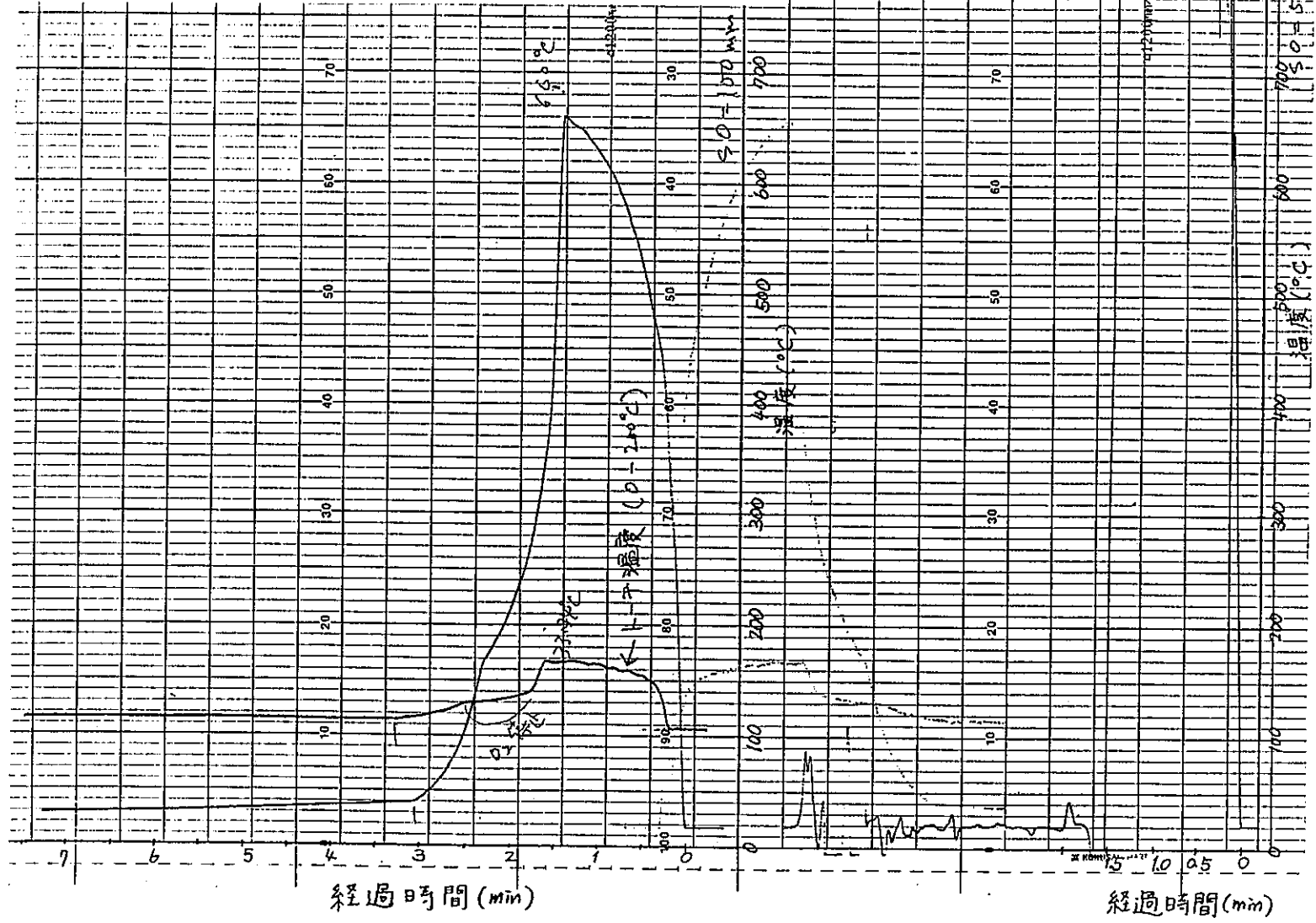


図 4 スタンドオフ(SO)依存の温度変化

(d) SO=50, 100mm



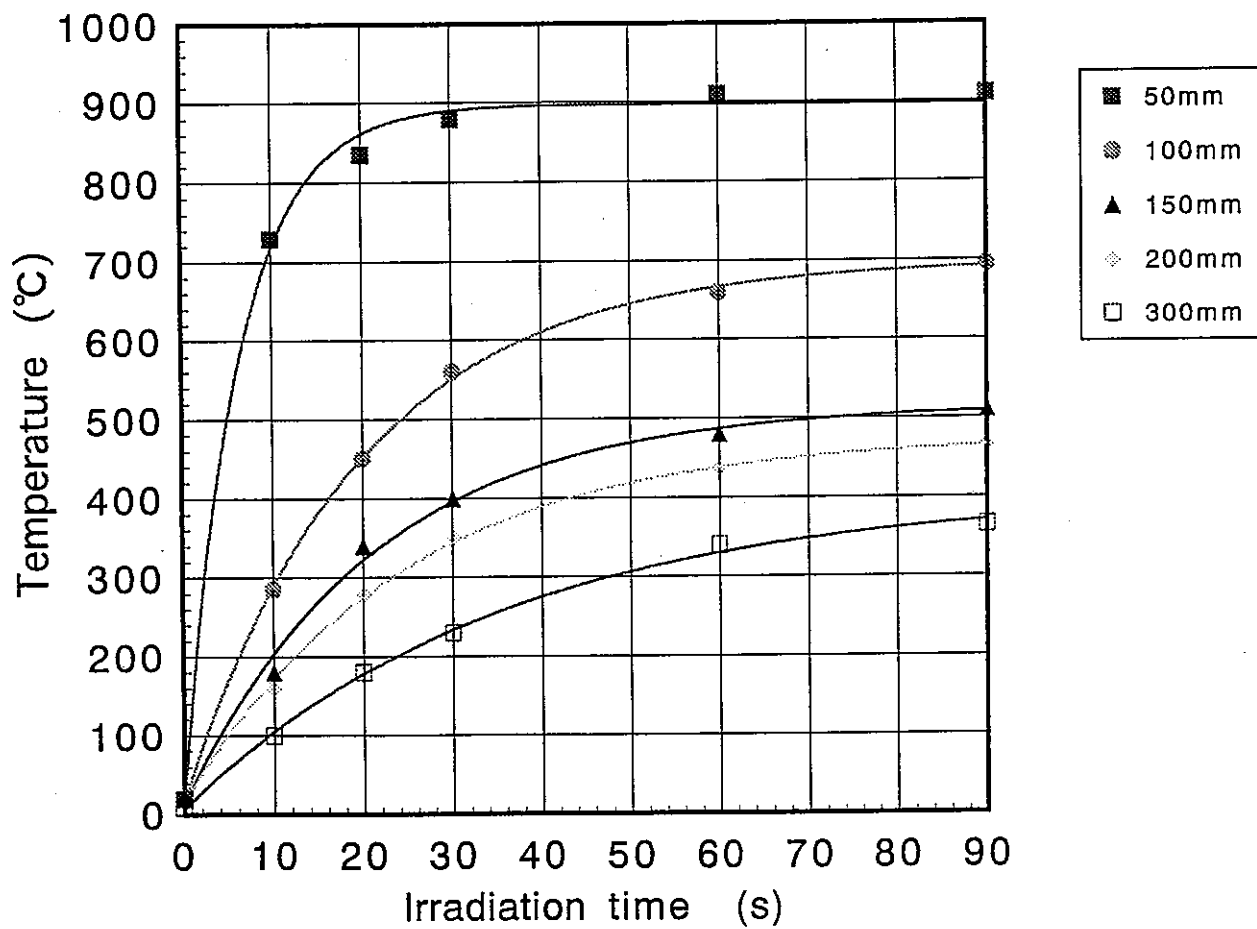


図 5 レーザ照射のみのスタンドオフ依存の温度変化