



JAEA-Technology

2008-008

高速実験炉「常陽」材料照射用実験装置2号機 (MARICO-2)・再組立技術の確立

Re-assembly Technology Establishment of Material Testing Rig with Temperature Control(MARICO-2)

阿部 和幸 小林 孝* 梶間 久司* 吉川 勝則
永峯 剛 中村 保雄

Kazuyuki ABE, Takashi KOBAYASHI*, Hisashi KAJIMA*, Katsunori YOSHIKAWA
Tsuyoshi NAGAMINE and Yasuo NAKAMURA

大洗研究開発センター

燃料材料試験部

Fuels and Materials Department
Oarai Research and Development Center

March 2008

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>）
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

© Japan Atomic Energy Agency, 2008

高速実験炉「常陽」材料照射用実験装置 2 号機 (MARICO-2)・再組立技術の確立

日本原子力研究開発機構
大洗研究開発センター燃料材料試験部
阿部 和幸、小林 孝*、梶間 久司**、吉川 勝則、永峯 剛、中村 保雄

(2008 年 1 月 10 日受理)

高速実験炉「常陽」材料照射用実験装置 2 号機 (MARICO-2:Material Testing Rig with Temperature Control) は ODS フェライト鋼などの継続した照射試験を行うためのものである。照射燃料集合体試験施設 (FMF) において同実験装置の再組立を行うため、遠隔操作により全長約 11m の長尺である実験装置を組立・溶接する再組立装置の設計・製作を実施した。また、同再組立装置を用いて遠隔操作による再組立手順を確立した。

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

* 日立製作所

** 原子力技術株式会社

Re-assembly Technology Establishment of
Material Testing Rig with Temperature Control (MARICO-2)

Kazuyuki ABE, Takashi KOBAYASHI*, Hisashi KAJIMA**,
Katsunori YOSHIKAWA, Tsuyoshi NAGAMINE and Yasuo NAKAMURA

Fuels and Materials Department
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received January 10, 2008)

MARICO-2 is a Testing Rig for the continuous irradiation examination of ODS ferrite steel etc.. To re-assemble this experimental apparatus in Fuel Monitoring Facility (FMF), the design and the production of the device of re-assembly that was used to assemble and weld experimental apparatus of about 11m in total length by remote control were executed. Moreover, the procedure of re-assembly by remote control was established with this re-assembly device.

Keywords: MARICO-2, Re-assembly, FMF, Rig, Irradiation Examination, JOYO, ODS

* Hitachi, Ltd.

** NUCLEAR TECHNOLOGY & ENGINEERING CO., LTD.

目次

1.	はじめに	1
2.	MARICO-2 の構造と再組立の技術課題	1
2.1	MARICO-2 の構造	1
2.2	再組立の技術課題	2
3.	再組立技術の確立	5
3.1	MARICO 再組立装置の整備	5
3.2	溶接技術の開発	5
4.	MARICO-2 の再組立	40
4.1	MARICO-2 仮組立品等の受入れ	40
4.2	MARICO-2 の再組立	40
4.3	MARICO-2 組立品の払い出し	41
5.	おわりに	52
	謝辞	53
	参考文献	53

Contents

1 .	Introduction	1
2 .	Structure of MARICO-2 and technical problem of re-assembly	1
2.1	Structure of MARICO-2	1
2.2	Technical problem of re-assembly	2
3 .	Establishment of re-assembly technology	5
3.1	Production of MARICO re-assembly device	5
3.2	Development of welding technique	5
4 .	Re-assembly of MARICO-2	40
4.1	Acceptance of temporary assembly MARICO-2 and other goods	40
4.2	Re-assembly of MARICO-2	40
4.3	Carrying out of MARICO-2	41
5 .	Conclusion	52
	Acknowledgments	53
	References	53

表一覧

表 3-1 溶接技術の開発に係る要求仕様の変遷	12
表 3-2 材料毎の化学成分比較表	13
表 3-3 溶接条件一覧表 (SUS316材)	14
表 3-4 低サルファ材の溶け込み対策	14
表 3-5 溶接条件一覧表 (模擬体 S:0.003w t %)	15
表 3-6 溶接条件一覧表 (実機 S:0.001w t %)	15
表 3-7 引張試験結果	15

図一覧

図 2-1	MARICO-2 全体概略図（再組立前）	3
図 2-2	試料部集合体とキャップセル概略図	4
図 3-1	セル窓側面から見た MARICO 再組立装置の配置	16
図 3-2	セル窓正面から見た MARICO 再組立装置の配置	17
図 3-3	回転装置とポート内機構	18
図 3-4	再組立装置本体	19
図 3-5	補助装置	20
図 3-6	溶接装置（上部側）	21
図 3-7	ケーブル押え枠と六角管の溶接部概略図	22
図 3-8	直線溶接による六角管の全周溶接	23
図 3-9	コーナ部溶接時のダウンスロープイメージ	23
図 3-10	溶接長の設定とビードの重なり	24
図 3-11	溶接性能に影響を与える諸条件	25
図 3-12	ノズル付六角管固定方法（当初計画）	26
図 3-13	曲がりの定義	27
図 3-14	レーザ変位センサによる曲がり測定概略	28
図 3-15	曲がり測定方法概略	29
図 3-16	六角管溶接曲がり試験結果	30
図 3-17	溶接スタート時のトーチ移動システム	31
図 4-1	MARICO 取扱機（MARICO-2 組立品収納状態）	43

写真一覧（1／2）

写真 3-1 コーナ部の溶接外観（ダウンスロープ施工後）	32
写真 3-2 コーナ部の溶け込み（十分な重なり）	33
写真 3-3 コーナ部の溶け込み（重なり不十分）	33
写真 3-4 溶接ビード外観（SUS316材）	34
写真 3-5 溶け込み状態（SUS316材）	34
写真 3-6 低サルファ材の溶け込み（S : 0.003wt%）	35
写真 3-7 溶け込み状態（模擬体 S : 0.003wt%）	36
写真 3-8 溶け込み状態（実機 S : 0.001wt%）	36
写真 3-9 溶接ビード外観（実機 S : 0.001wt%）	37
写真 3-10 溶け込み状態（実機 S : 0.001wt%）	38
写真 3-11 引張試験結果（実機 S : 0.001wt%）	39
写真 4-1 MARICO-2 仮組立品の受入れ（第2ローディングドッグ）	44
写真 4-2 Oリング(4)のグリスアップ	44
写真 4-3 MARICO-2 仮組立品の移送（第2ローディングドッグ→サービスエリア）	44
写真 4-4 MARICO-2 仮組立品の仮置	44
写真 4-5 MARICO-2 仮組立品の起立	44
写真 4-6 第2コンタクトリペア室壁に設置	44
写真 4-7 Oリング(4) 交換前	45
写真 4-8 Oリング(4) 交換後	45
写真 4-9 バスケット組立品の受入れ（第2除染セル）	45
写真 4-10 バスケット組立品	45
写真 4-11 ノズル付六角管の受入れ（ノズル部）	46
写真 4-12 ノズル付六角管の受入れ（刻印部）	46
写真 4-13 MARICO-2 仮組立品の移動（簡易架台→P-22）	46
写真 4-14 天井ポート P-22 への設置	46
写真 4-15 P-22 へ設置（Oリング(4)の外観確認）	46
写真 4-16 P-22 へ設置完了	46
写真 4-17 吊具の取外し	47
写真 4-18 配管曲げ作業	47
写真 4-19 配管の養生	47
写真 4-20 繼手の取外し	47
写真 4-21 内側延長管支持筒の取外し	47
写真 4-22 昇降継手の取付け	47

写真一覧（2／2）

写真 4-23	回転装置の設置	48
写真 4-24	回転装置と MARICO-2（昇降継手）の接続	48
写真 4-25	動作確認（干渉の有無確認）①（固定ボルトと下部ハウジング胴）	48
写真 4-26	動作確認（干渉の有無確認）②（昇降継手と下部ハウジング胴キー）	48
写真 4-27	旋回継手の取付け①	48
写真 4-28	旋回継手の取付け②	48
写真 4-29	バスケット組立品の装荷	49
写真 4-30	上部端栓締め付け	49
写真 4-31	固定ネジの廻り止め溶接	49
写真 4-32	ノズル付六角管の嵌め込み	49
写真 4-33	ノズル付六角管嵌め込み完了	49
写真 4-34	ノズル付六角管とケーブル押え枠の点付溶接	49
写真 4-35	ノズル付六角管とケーブル押え枠の周溶接	50
写真 4-36	周溶接完了	50
写真 4-37	MARICO 取扱機受入れ（第 2 ローディングドッグ）	50
写真 4-38	MARICO 取扱機受入れ（サービスエリア）	50
写真 4-39	装荷用ハンドリングキャップの取付け	50
写真 4-40	ハンドリングヘッドの取付け	50
写真 4-41	収納アダプタ設置	51
写真 4-42	MARICO 取扱機設置	51
写真 4-43	MARICO 取扱機を移送架台に積載（横置き）	51
写真 4-44	派出準備（斜め置き）	51
写真 4-45	運搬車両に積載	51
写真 4-46	メンテナンス建屋に運搬車両を入域	51

1. はじめに

高速実験炉「常陽」材料照射用実験装置 2 号機 (MARICO-2:Material Testing Rig with Temperature Control) は照射済み試験片を中間検査後に継続照射するため 1 号機を改良したリグであり、電気ヒータやガス置換により原子炉の出力に頼らずに温度制御が行える。高性能な被覆管材料として着目される ODS フェライト鋼などの継続照射のため、照射燃料集合体試験施設 (FMF) において照射試料を再装填してリグの再組立を行う必要があり、MARICO 再組立装置の設計・製作を行い、遠隔操作による再組立手順を確立した¹⁾。

MARICO 再組立装置は、平成 4 年から基本設計を開始し、平成 6 年に製作完了、総合試運転の結果を受け平成 8 年～10 年に装置の一部改造を行った。その後、再組立仕様の変更に伴う装置の改造・手順の再検討を行い、平成 17 年に実機の再組立を実施した。

本報告書は、MARICO-2 再組立技術の開発経緯と実機の再組立結果についてまとめたものである。

2. MARICO-2 の構造と再組立の技術課題

2.1 MARICO-2 の構造

図 2-1 に MARICO-2 全体概略図、図 2-2 に MARICO-2 の試料部集合体とキャップセルの概略図を示す。MARICO-2 は、大別して運転用駆動部、保持装置、試料部集合体から構成される全長約 11m の装置である。原子炉の燃料交換は回転プラグで行うが、図 2-2 の原子炉装荷状況で示すように試料部集合体が炉心に装荷された状態では回転プラグを稼動できない。よって、回転プラグを稼動する際は試料部集合体を保持装置に収納できるようになっている。

試料部集合体はハンドリングヘッドと六角管及びノズルから構成されており、六角管内部には計測線等が接続されたキャップセルが配置されている。キャップセルは軸方向に 5 段、各段に 3 キャップセルの合計 15 キャップセルであり、照射試料が装填される。これらは照射温度を制御できる温度制御系と、照射中の温度を計測する温度計測系で構成され、温度制御系は混合ガス置換制御型とヒータ制御型の 2 種類、温度計測系は照射中の温度を計測するオンライン型と照射後試験時に温度モニターで評価するオフライン型の 2 種類である。一例として、図 2-2 に混合ガス置換制御型キャップセルを示した。キャップセルに接続されているガス配管や計測線類は運転用駆動部を経由して炉外の制御盤等に繋がっており、温度制御や計測は炉外で行われる。

FMS での作業は、キャップセルへの継続照射試料装荷とノズル付六角管の嵌め込み及び周溶接（図 3-7 参照）であり、図 2-1 に示した運転用駆動部以外の部分を受入れて再組立を行っている。

キャップセルの組立は次のように行った（図 2-2 参照）。キャップセル固定ネジを緩めてキャ

プセルを傾け、照射試料の入ったバスケットを装荷後にキャップを取り付ける。固定ネジを締め込んでキャップセルを起立させ、点付溶接して固定ネジの廻り止めを施す。試料部集合体の組立は、全キャップセルをノズル付六角管に収納した後、ハンドリングヘッド下方と六角管の嵌め合い部を周溶接することで完了する。

2.2 再組立の技術課題

MARICO-2 の再組立では継続照射試料を装荷するため遠隔操作が必須であるが、全長が約 11m の長尺であることから、MARICO-2 をセルに設置した状態でマニプレータによる試料取扱いができるよう、大型セルを用意する必要がある。また、再組立終了後は「常陽」炉心に装荷することから、汚染付着を極力防げるよう、セル内の汚染レベルは低く抑えられていなければならない。FMF 第 2 除染セルはそれらの条件を全て満たしていることから、MARICO-2 の再組立は同セルで実施することとした。第 2 除染セルは汚染が殆ど無い状態で管理されており、セル天井のポートに MARICO を設置してキャップセル組立やノズル付ラッパ管嵌め込み溶接をマニプレータ操作位置で実施できる。

FMF ではこれまで多くの再組立²⁾を行っているが、MARICO-2 のように長尺で、周溶接が必要なリグの取扱実績はない。そのため、新たに MARICO 再組立装置を設計・製作し、六角管周溶接等の遠隔操作技術を確立しなければならない。具体的には以下の技術課題がある。

- ①再組立装置は、キャップセルが配置されノズル付ラッパ管を嵌め込む部分である試料部集合体を固定・旋回・昇降させると併に、ノズル付ラッパ管を嵌め込み周溶接が行えること。また、使用時以外はセル内から撤去できること。
- ②ラッパ管溶接後の曲がりは所定の範囲（2.5mm）以下に抑えること。

次項より、再組立技術の確立に関する詳細な内容を述べる。

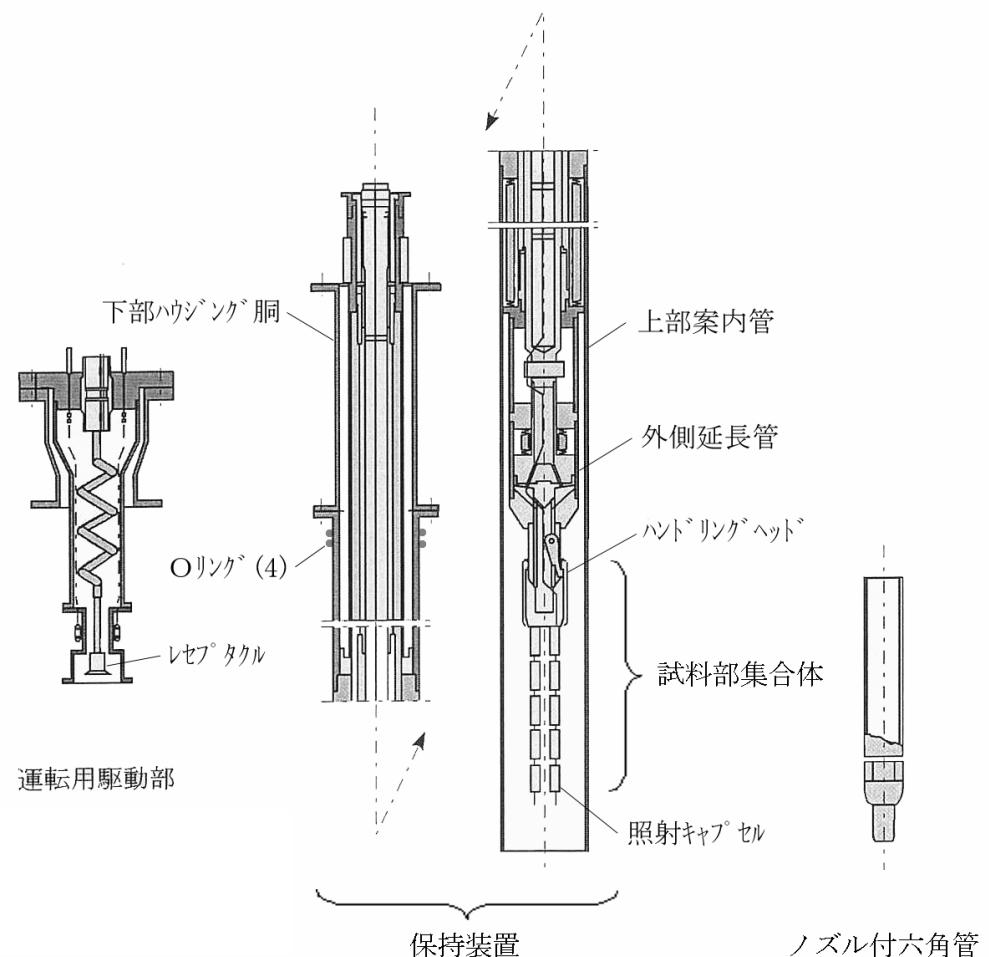


図 2-1 MARICO-2 全体概略図 (再組立前)

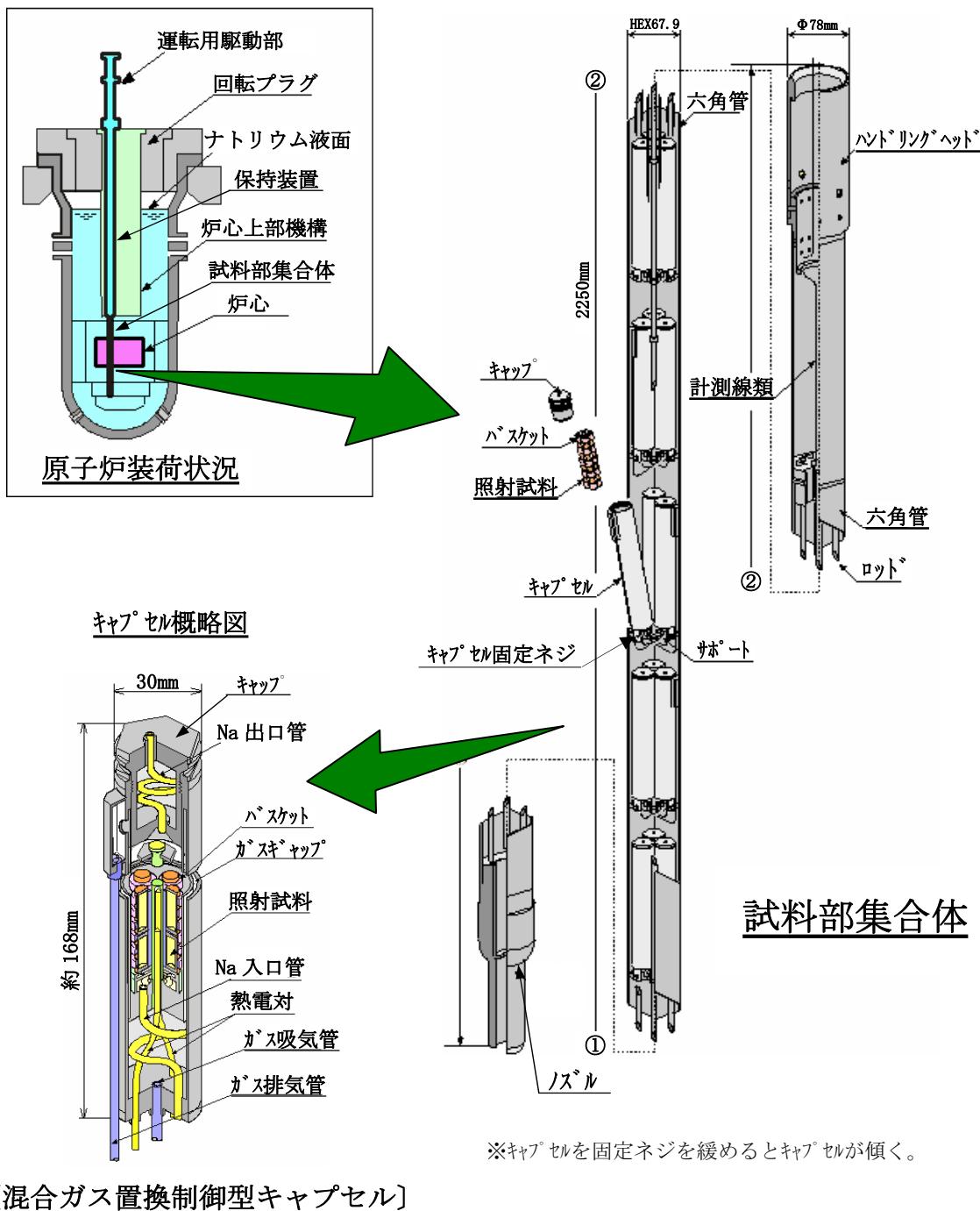


図 2-2 試料部集合体とキャップセル概略図

3. 再組立技術の確立

3.1 MARICO 再組立装置の整備

MARICO 再組立装置は、FMF の第 2 除染セルで MARICO 再組立を行うことを前提に設計・製作した。しかし、第 2 除染セルは他の目的でも用いることから、再組立装置は使用時以外セルの外で保管する必要がある。よって、セル外での保管とセル内において遠隔操作による設置や撤去ができるようモックアップ試験を行い、その結果を踏まえて改造を加えた。装置の構成と概略機能を以下に示す。装置の配置については図 3-1～3-2 参照のこと。なお、各装置はそれぞれ独立しており、再組立装置本体と補助装置は遠隔操作でセル内に設置、解体できる構造を有する。

①回転装置

図 3-3 に装置の構造を示す。サービスエリアに設置し、セル内に吊り下げた MARICO-2 を回転／昇降動作させることにより、セル内における試料部集合体の取合位置を調整する機能を持つ。また、放射線の遮蔽機能を持つ。

②ポート内機構

図 3-3 に装置の構造を示す。第 2 除染セル天井ポートに設置して使用するものであり、サービスエリアとセル間の気密を保持しながら、回転装置による MARICO の回転を支障なく行えるようサポートする。

③再組立装置本体

図 3-4 に概略図を示す。セル床に設置して使用するものであり、回転装置から吊り下げられた MARICO 試料部集合体のノズル付六角管嵌め込み時の位置合わせ、及び嵌め込み機能を有する。

④補助装置

図 3-5 に装置の構造を示す。セル床に設置し、再組立装置本体、M/S マニプレータの機能を補う。対象となる作業は、キャップ取外し・取付けのためのキャップセル固定、ノズル付六角管の固定、組立時の MARICO の保持等であり、作業に応じて治具を交換する。

⑤溶接装置

図 3-6 に装置の構造を示す。セル床に設置し、点付溶接や六角管の周溶接を行う機能を持つ。シングルトーチ方式であり、遠隔操作にて、溶接トーチや電極の交換が行える構造である。

⑥制御装置

操作室に設置し、回転装置、再組立装置本体、補助装置の制御を行い、制御盤及び装置操作卓から構成される。

3.2 溶接技術の開発

MARICO 再組立技術開発において、溶接技術の開発には、試料部集合体部材の材料として

硫黄成分の少ない低サルファ材（硫黄）が採用されたこと、溶接による曲がりや引張試験が追加されたことなどから多くの時間を費やすことになった。

本項では、溶接技術の開発経緯について報告する。

3.2.1 低サルファ材の溶接

溶接部の概略を図 3-7 に示す。試料部集合体には計測線等をまとめるためのケーブル押え枠が設けられており、上下の六角管と溶接される。ハンドリングヘッド側六角管とケーブル押え枠は溶接された状態で FMF に搬入されるため、FMF ではノズル付六角管をケーブル押え枠に嵌め込んで周溶接を行うこととなる。しかし、材質や検査項目といった要求仕様が度々変更されたことから、その都度溶接条件を見直している。表 3-1 に要求仕様の変遷を示す。

六角管とケーブル押え枠の溶接にあたり最大の課題となったのは、低サルファ材の溶接を行うことであった。

MARICO-2 の溶接では、外観が良好であると共に六角管板厚分（2.3mm）の溶け込みが必要となる。六角管の材質は PNC316、ケーブル押え枠は原子力用 SUS316 である。表 3-2 に化学成分比較表を示す。含有成分のひとつである硫黄は溶接時の溶け込みを深くする効果を持っているが、原子力用 SUS316 は硫黄が少ない低サルファ材であり溶接時の溶け込みが浅い。

FMS では、当初予定されていた SUS316 での溶接試験を行っていたが、低サルファ材採用の決定に伴い溶接条件の見直しを行った。以下に、SUS316 材を用いた溶接条件の検討結果と、低サルファ材溶接のため見直した条件について述べる。

(1) SUS316 材の溶接

ケーブル押え枠の模擬体を SUS316 材で製作し、六角管（PNC316）との溶接試験を実施した。図 3-7 にケーブル押え枠と六角管の溶接部の概略図を示す。

MARICO の溶接は六角管コーナ部を含めた全周溶接をする必要があるが、MARICO 溶接装置の溶接トーチは直線運動のみであるため、図 3-8 に示すような直線溶接を 6 面について施工することで、全周溶接を行う方法をとった。

① コーナ部の溶接

溶接トーチをコーナ部まで移動させることで、割れ、変形等が生じることなく、コーナ部を溶接できることができることが確認されたが、直線部に比べコーナ部では溶接ビード幅と余盛りが若干大きくなつた。この原因はコーナ部で電極と母材が徐々に離れアークが広がるために推測されたため、電極を移動させつつ電流を徐々に低下させる施工（ダウンスロープ施工）を行つたところ、余盛りとビード幅を一定にすることができた（写真 3-1 参照）。図 3-9 にダウンスロープのイメージ図を示す。

但し、図 3-10 に示すように、溶接スタート位置が左右にずれると、それに合わせて溶接エンド部がずれるため、隣接面のビードの重なりが一定にならない。重なり方が不十

分な場合、溶け込み不足となるため、溶接スタート位置の設定は、重要な溶接条件の一つであることがわかった（写真 3-2、3-3 参照）。

② 溶接条件の確立

コーナ部のビード外観、溶け込み状態の他、溶接スタート時の電流、直線溶接電流、溶接時のカバーガス流量等についても、様々な条件を試行した。溶接性能に影響を与える諸条件を図 3-11 に示す。これらを溶接パラメータとし、再現性のある最適な溶接条件を確立した。溶接条件一覧を表 3-3 に示す。また、本溶接条件で溶接した試験体の外観、溶け込み状態の代表例を写真 3-4、3-5 に示す。

(2) 低サルファ材の溶接

ケーブル押え枠の実機材質が低サルファ材に決定したことから、低サルファ材で模擬体を製作して溶接試験を実施し、溶接条件を見直した。

① 低サルファ材(S : 0.003 w t %)とSUS316材との比較

SUS316 材との違いを確認するため、低サルファ材の模擬体を用いて溶接を行った。低サルファ材では溶け込みが浅くなると予測されたことから、溶接電流設定値を約 80A から 95A に上げると同時に、溶接速度を 30 秒/1 面から 50 秒/1 面に設定して溶接時間を長くとったが、溶け込み深さは板厚未満となり、ビード幅が 2 倍近く広がった。また、溶け込み形状は釣鐘状ではなく、広く平らな形状になった。断面観察結果を写真 3-6 に示す。

のことから、低サルファ材では SUS316 材の溶接条件を単純に適用できないことがわかった。

② 溶接条件の調査

溶接条件見直しにあたり、同種材の溶接施工実績を持つ核燃料サイクル工学研究所 燃料技術部 製造加工課（旧東海事業所 プル燃 加工課）（以下 製造加工課という。）、及び H 社における溶接条件を調査した³⁾。どちらも低サルファ材での溶け込み不足を経験しており、その際の対策方法をご教授頂いた（表 3-4 参照）。製造加工課では溶接電流、H 社では、溶接電流、溶接速度、カバーガス比、電極先端形状を組み合わせて変更していくが、両社共、最も有効な因子は溶接電流との認識であった。

FMS ではセル内で溶接を行う。セル外からの電源供給には放射線遮蔽能力を有する気密性電気プラグを介する必要があるが、電気プラグのコネクタに通電できる電流に制限があることから、カバーガス比や電極先端形状の対策を行った上で、溶接電流値を上げることとした。

③ 低サルファ材の溶接条件

(i) カバーガス、電極先端形状の調整

・カバーガスの調整

カバーガス (He-Ar 混合ガス) 中の He 比を高くすると溶け込みが深くなる。しかし、

これまでに実施してきた溶接試験において、溶接スタート時の不具合（アークが発生しない、あるいは、電極と溶接対象物の溶着）や、アークが安定しないことが確認されている。そこで Ar < He を維持しつつ、上気不具合を回避できる混合比を求めた。これまで He 比 50% (He10 ボリューム/分、Ar10 ボリューム/分) であったが、試験の結果、He 比 80% (He16 ボリューム/分、Ar 4 ボリューム/分) が最適と判断した。

・電極先端形状の調整

電極先端形状（研磨角度）を鈍角にしていくと、75° 付近までは溶け込みが深くなる。また、先端を $\phi 0.5\text{mm}$ 程度カットすると溶け込みが深くなる。試験の結果、鈍角にした場合、溶接スタート電流を約 40A（従来は約 30A）にすることで、溶接スタート時の不具合発生を低い確率に抑えるとともに、安定したアークを発生できるとわかった。よって、電極先端は鈍角にすることとした。なお、先端をカットした場合、溶接スタート時、アーク安定性、共に不具合が生じるため不採用とした。

(ii) 模擬体 (S : 0.003 wt %) の溶接

カバーガス、電極先端形状の調整結果を反映し、溶接電流をパラメータにした溶接を行い、溶け込み確認試験を行った。入手可能な材料の中で一番硫黄含有率の低いものを用いて模擬体を作製し、溶接条件を検討したところ、溶接電流 105A で十分な溶け込みが得られることが分かった。溶接条件一覧を表 3-5 に示す。また、本溶接条件で溶接した試験体の溶け込み状態の代表例を写真 3-7 に示す。

なお、図 3-8 で示したように六角管溶接は各面毎に直線溶接を行うこととなるが、溶接電流を上げたことにより溶接終了部で隣接面を大きく溶かしてしまったことから溶接長を従来よりも短くした。

(iii) 実機 (S : 0.001 wt %) の溶接

実機材質はさらに硫黄の含有量が少ない 0.001 wt % である。溶接を行ったところ、模擬体の溶接条件では溶け込み不足であった。写真 3-8 に溶け込み状態を示す。そこで、120A の電流で溶接を行った。この値は電気プラグコネクタの通電制限値である。その結果、十分な溶け込みが得られることが確認された。溶接条件一覧を表 3-6 に、溶接ビード外観と溶け込み状態を写真 3-9、3-10 に示す。

・溶接ビード外観

電流を大きくしたことにより、ビードのダレが生じている。ビード幅 7 ~ 8mm のうち、上側では六角管表面よりも凹であり、下側では凸になっている。しかし、六面とも同様な外観であり、再現性が取れていることから、外観上問題ないと判断した。

・溶け込み

面中央部、コーナ部ともに板厚以上の溶け込みがあり、合格基準を満足した。

・引張試験

溶接を行った実機材から引張試験片を 2 体製作し、引張強度、破断位置を確認した。

表 3-7 に試験結果を示す。また、写真 3-11 に試験体の外観写真を示す。破断位置は

ビード部の上側で、ビードのダレにより六角管表面よりも凹になっていた部分であり、引張強度は約 540N/mm^2 であった。これは母材強度 520N/mm^2 を超えており、合格基準を満足した。

3.2.2 溶接曲がりの対策

当初、六角管とケーブル押え枠を嵌め合わせてネジで固定し、ネジの一部を周り止め点付け溶接した後に、嵌め合い直線部溶接（コーナー部は溶接しない。図 3-12 参照。）を行う計画であった。しかし、溶接条件に係わらず点付け溶接部に割れが発生したことから、コーナー部を含む六角管全周を溶接するよう仕様が変更となった。

六角管全周溶接において課題となるのは溶接時に発生する曲がりである。「常陽」に装荷するためには、集合体の曲がり量は 2.5mm 以内でなければならない。MARICO 再組立装置は当初計画に基づいて設計・製作されたものであり、六角管全周溶接時に発生する曲がり抑制やその測定を行う機能は有していない。そのため、装置の改造や手順の見直しを行った。

(1) 曲がり測定

MARICO-2 における曲がりは、ノズルの中心線を集合体の仮想中心線とし、ハンドリングヘッド中心と仮想中心線との最短距離となる（図 3-13 参照）。FMF での曲がり測定は、図 3-2 に示すように第 2 除染セルに吊り下げた状態で行うこととなるが、以下に示す課題があった。

- ・長尺のため水平に設置し定盤の上で測定するという従来の方法は不可能。
- ・遮蔽窓からの視野では試料部集合体全体を見ることができない。
- ・MARICO-2 は吊り下げられているので接触方式では集合体が揺れ測定ができない。

（試料部集合体全体を固定するコラム等の設備が必要）

これらの課題を踏まえ、曲がり測定方法を検討した。

① 測定方法

曲がり測定方法について検討した結果、以下のように対応することとした。

- (i) レーザ変位センサを溶接装置の駆動軸に取り付け、溶接線をまたぐ六角管表面の距離の変化を測定し、6 面分のデータを合成することで測定範囲における曲がりを算出（図 3-14 参照）。
- (ii) 集合体全体の曲がりについては、集合体を 2 分割し、高速炉技術課における仮組立時の曲がり測定結果と、FMS における曲がり測定結果を合成することで、溶接後の試料部集合体の曲がりを算出（図 3-15 参照）。

② 測定精度の向上

再組立における曲がり基準は 2.5mm 以下であり、 0.1mm 単位の測定精度が必要であった。測定にあたってはレーザ変位センサを上下駆動させるが、駆動軸の移動精度が 1mm である

ため、精度を一桁上げる必要がある。そこで軸方向の測定点数を 20 点以上とし、その平均値を用いることで、精度を一桁上げる*方法を取った。

* : JIS 9041-1 データの統計的解釈方法 を準用。

(2) 溶接曲がり対策

MARICO 再組立装置の溶接装置はシングルトーチ方式である。これは、当初計画されていた六角管とケーブル押え棒嵌め合い部の溶接方法に基づいて設計・製作されている。しかし、コーナー部を含む六角管全周溶接とするよう仕様が変更になったことから、課題となる曲がり抑制対策を調査・検討した。

現在実施されている「常陽」「もんじゅ」燃料集合体の六角管全周溶接方法の調査結果を以下に示す。

- ・燃料集合体製造ではシングルトーチからトリプルトーチまで実績がある。
「常陽」MK-I ; シングルトーチ、MK-II, III ; トリプルトーチ、
「もんじゅ」 ; ダブルトーチ
- ・シングルトーチと複数トーチの曲がり発生量を比較すると複数トーチの方が小さい。
- ・シングルトーチでの曲がり方向は一回目の溶接方向と同じ。
- ・部材の加工仕上げ度合い（嵌め合い部の加工精度）に起因する曲がりが大きい。
- ・周溶接まえの仮止め溶接を多くすることで溶接時の固定が強固になる。
- ・治具による六角管の固定は溶接部から離れた場所が良いが芯出しが困難である。
(芯ずれにより曲がった形に固定してしまう恐れがある)
- ・冷し金は局所的に深い溶け込みを狙うときは有利であるが曲がり対策ではない。

以上より、シングルトーチよりも複数トーチの方が曲がりには有利であるが、必須ではないことが分かった。また、溶接時の母材側の固定は、溶接時に母材を移動させないための固定程度と考えて問題ないことが分かった。

これを受け、現状のシングルトーチで溶接試験を行った。その結果を図 3-16 に示す。SUS316 材で作製した模擬体を用いて、6 面の点付溶接と、各面の直線溶接後にそれぞれ曲がり測定を行った。模擬体の長さは 200mm 程度であり集合体より短いことから、集合体曲がり許容値を溶接試験の目標値とすることは出来ない。集合体の曲がりは溶接部の変形で一義的に決まるものと仮定して、模擬体の長さ当たりで許容される曲がり量を計算し、許容範囲として赤丸で示した。曲がり測定の結果より、点付溶接では曲がりは生じないことと、直線溶接後の曲がり方向とは逆の面を溶接することにより、曲がり量を基準内まで低減できることが分かった。

3.2.3 制御システムの改造

溶接スタート時に電極と母材が溶着する事象が発生した。これは、本溶接装置がタッチスタート方式を採用しているため、アークギャップが短い場合には母材が電極に引き寄せられるために生じるものであった。図 3-17 に溶接トーチの動作イメージを示す。そこで、母材側を固定する治具を追加するとともに、溶接トーチの移動システムを改良し、溶接スタート時の溶着を解消した。

表 3-1 溶接技術の開発に係る要求仕様の変遷

	固定方法	溶接対象	材質	検査項目	備考 (試験結果、課題点等)
溶接試験① (H9年)	固定ねじ 溶接の併用	固定ねじ：点付 六角管：直線溶接 (コーナ部除く)	固定ねじ：SUS304 六角管：SUS316 押え棒：SUS316	外観	スタート時の溶着 固定ねじの割れ
溶接試験② (H10年)	同上	同上	固定ねじ：SUS316 六角管：SUS316 押え棒：SUS316	外観	固定ねじの割れ
溶接試験③ (H13年)	周溶接	六角管：周溶接 (コーナ部含全周)	六角管：PNC316 押え棒：SUS316	外観 溶け込み 曲がり	コーナ部ヒートが不安定 曲がり低減方法の検討
溶接試験④ (H14年)	同上	同上	六角管：PNC316 押え棒：SUS316	外観 溶け込み 曲がり	嵌め合いキャップ変更による条件の見直し
溶接試験⑤ (H15年)	同上	同上	六角管：PNC316 押え棒：原子力用 SUS316	外観 溶け込み 曲がり	実機材の組成確定に伴う溶接条件の見直し

表 3-2 材料毎の化学成分比較表

成分	①SUS316 (J I S材)	②PNC316 (六角管)	③低サルファ材 (ケーブル押え 枠)
C	≤ 0.08	0.040~0.080	0.05
S i	≤ 1.00	0.40~1.00	0.38
Mn	≤ 2.00	1.40~2.00	1.60
P	≤ 0.045	0.015~0.040	0.020
S	≤ 0.030	≤ 0.010	0.001
Ni	10.00~14.00	13.00~14.00	11.09
Cr	16.00~18.00	16.00~18.00	16.12
Mo	2.00~3.00	2.00~3.00	2.05
Co	—	≤ 0.05	—
B	—	0.0020~0.0060	—
N	—	≤ 0.010	—
C u	—	≤ 0.20	—
T i	—	0.05~0.10	—
V	—	≤ 0.20	—
N b	—	0.05~0.10	—
A s	—	≤ 0.030	—
A l	—	≤ 0.050	—
O	—	≤ 0.0040	—
T a	—	≤ 0.05	—
Z r	—	≤ 0.10	—
F e	—	—	—

↑

↑

↑

規格値

規格値

検査結果

・材料規格

JISG4303-98-SUS316

・Chemical Composition (w t. %)

・①②は規格値。③は規格が存在しない。表中の値は製造時の検査結果。

表 3-3 溶接条件一覧表 (SUS316 材)

・六角管 周溶接条件

S 電流*	初期電流			溶接電流			DS *	クレータ電流		δ *	ガス流量	
	電流	電流	時間	電流	長	溶接速度		時間	電流		Ar	He
A	A	sec	A	mm	sec/ 面	sec	A	sec	mm	ml/min		
30	23	0.5	80	35	30	2.3	16.6	1.0	1.4	10	10	

* S 電流 : スタート電流, DS : ダウンスロープ, δ : アークギャップ

表 3-4 低サルファ材の溶け込み対策

	製造加工課	H 社
事象	低サルファ材 (S : 0.002w t %) 従来の溶接条件では、板厚以下の溶け込みであった。	低サルファ材 (S : 0.005w t %) 従来の溶接条件では、板厚以下の溶け込みであった。
対策	溶け込み量に影響が大きい因子と言われる「溶接電流」を大きくした。	電流、溶接速度、ガス比、電極先端形状、を調整した。
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・溶け込みを優先し、ビード幅、外観の仕上がり具合はある程度無視した。 ・釣鐘型の溶け込みは不可能。 ・外観等の仕上がりも考慮し板厚分(1.9mm)の溶け込みを目標とした。 ・溶接条件パラメータは複数あるが、期間、部材ともに限りがあったため、溶接速度、電極形状、ガス濃度等は固定して溶接条件を求めた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶け込みを優先し、ビード幅、外観の仕上がり具合はある程度無視した。 ・釣鐘型の溶け込みは不可能。 ・外観、曲がり等を考慮し板厚分(1.9mm)で、開先の溶け残りが無い溶接を目標とした。

表 3-5 溶接条件一覧表 (模擬体 S:0.003w t %)

・六角管 周溶接条件

S 電流*	初期電流			溶接電流			DS *	クレータ電流		δ *	ガス流量	
	電流	時間	電流	長	溶接速度	時間		電流	時間		Ar	He
A	A	sec	A	mm	sec/ 面	sec	A	sec	mm	リッ/min		
40	40	0.5	105	33.5	60	2.3	18	1.0	1.0	4	16	

* S 電流 : スタート電流, DS : ダウンスロープ, δ : アークギャップ

表 3-6 溶接条件一覧表 (実機 S:0.001w t %)

・六角管 周溶接条件

S 電流*	初期電流			溶接電流			DS *	クレータ電流		δ *	ガス流量	
	電流**	電流**	時間	電流**	長	溶接速度**		時間	電流**		Ar	He
A	A	sec	A	mm	sec/ 面	sec	A	sec	mm	リッ/min		
40	40	0.5	120	33	60	2.3	18	1.0	1.3	4	16	

・六角管 点付接条件

S 電流*	初期電流			溶接電流			DS *	クレータ電流		δ *	ガス流量	
	電流**	電流**	時間	電流**	点付時間	時間		電流**	時間		Ar	He
A	A	sec	A	sec	A	sec	sec	A	sec	mm	リッ/min	
40	40	0.5	50	10	—	—	—	—	1.3	4	16	

・キャップセル固定ネジ 点付接条件

S 電流*	初期電流			溶接電流			DS *	クレータ電流		δ *	ガス流量	
	電流	電流	時間	電流	点付時間	時間		電流	時間		Ar	He
A	A	sec	A	sec	A	sec	sec	A	sec	mm	リッ/min	
35	25	0.5	35	6	—	16	—	3	1.0	4	0	

* S 電流 : スタート電流, DS : ダウンスロープ, δ : アークギャップ

表 3-7 引張試験結果

試験体 No.	最大荷重 (N)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	破断位置
b	24,750	539	28	溶金部
e	24,750	543	32	溶金部

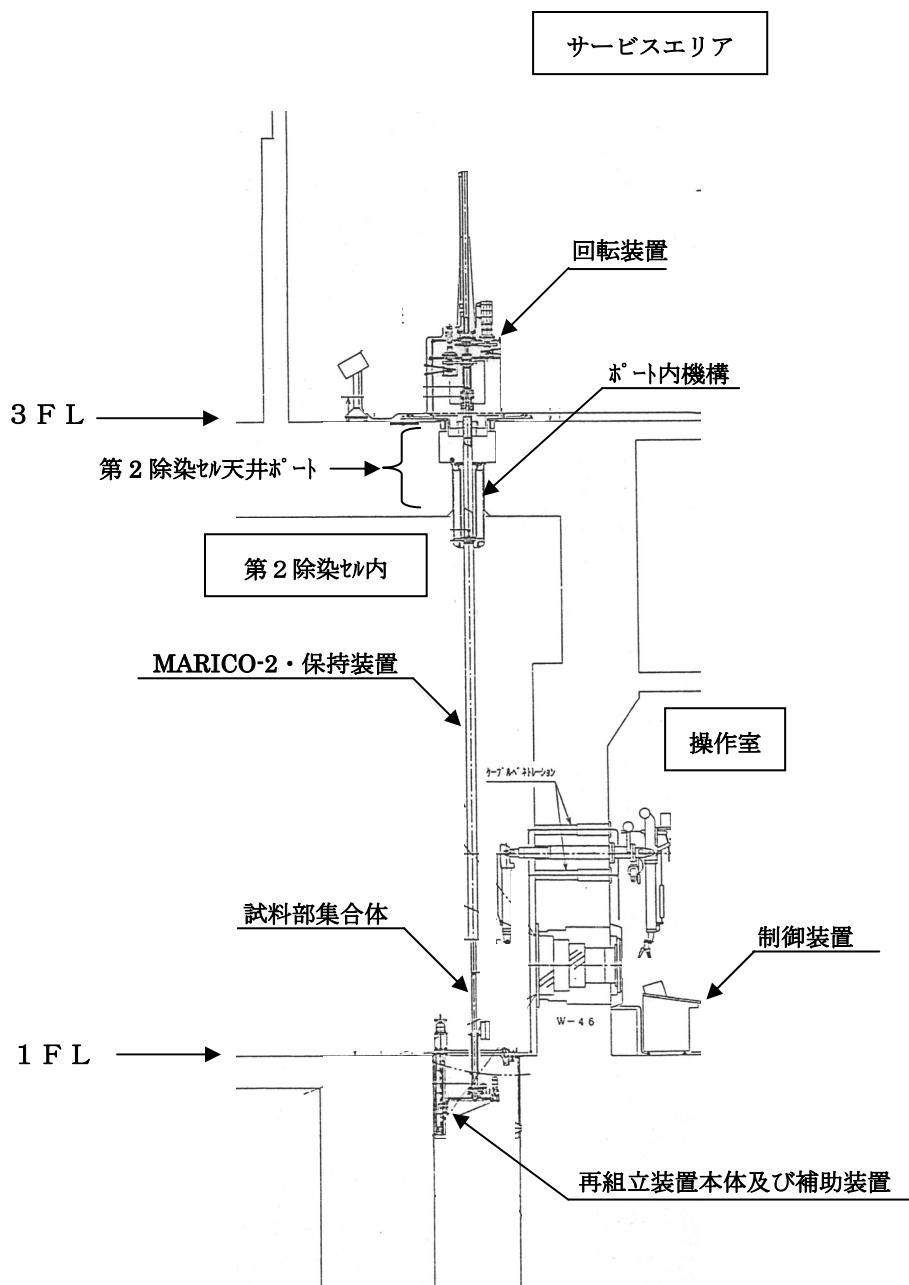


図 3-1 セル窓側面から見た MARICO 再組立装置の配置

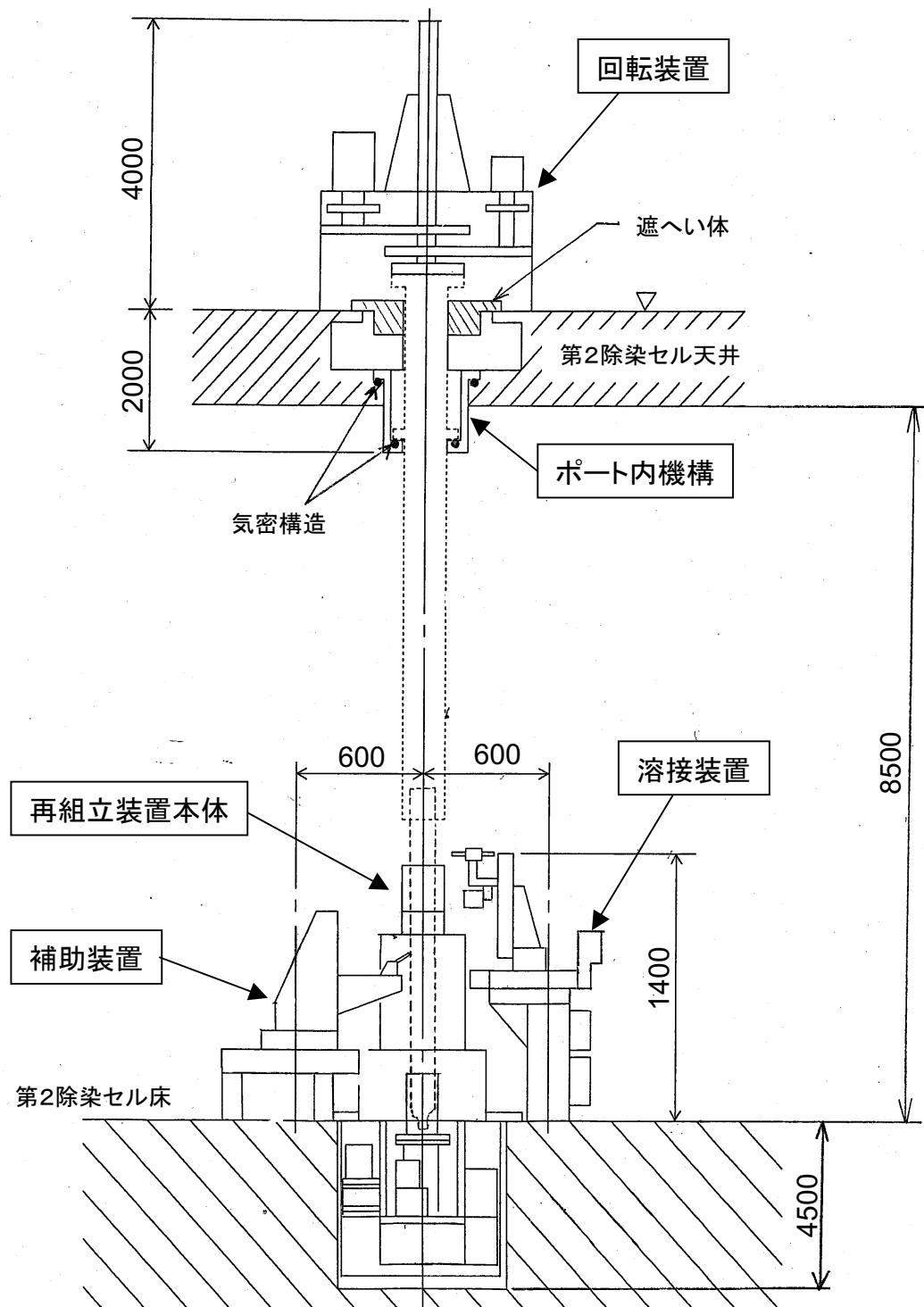


図3-2 セル窓正面から見たMARICO再組立装置の配置

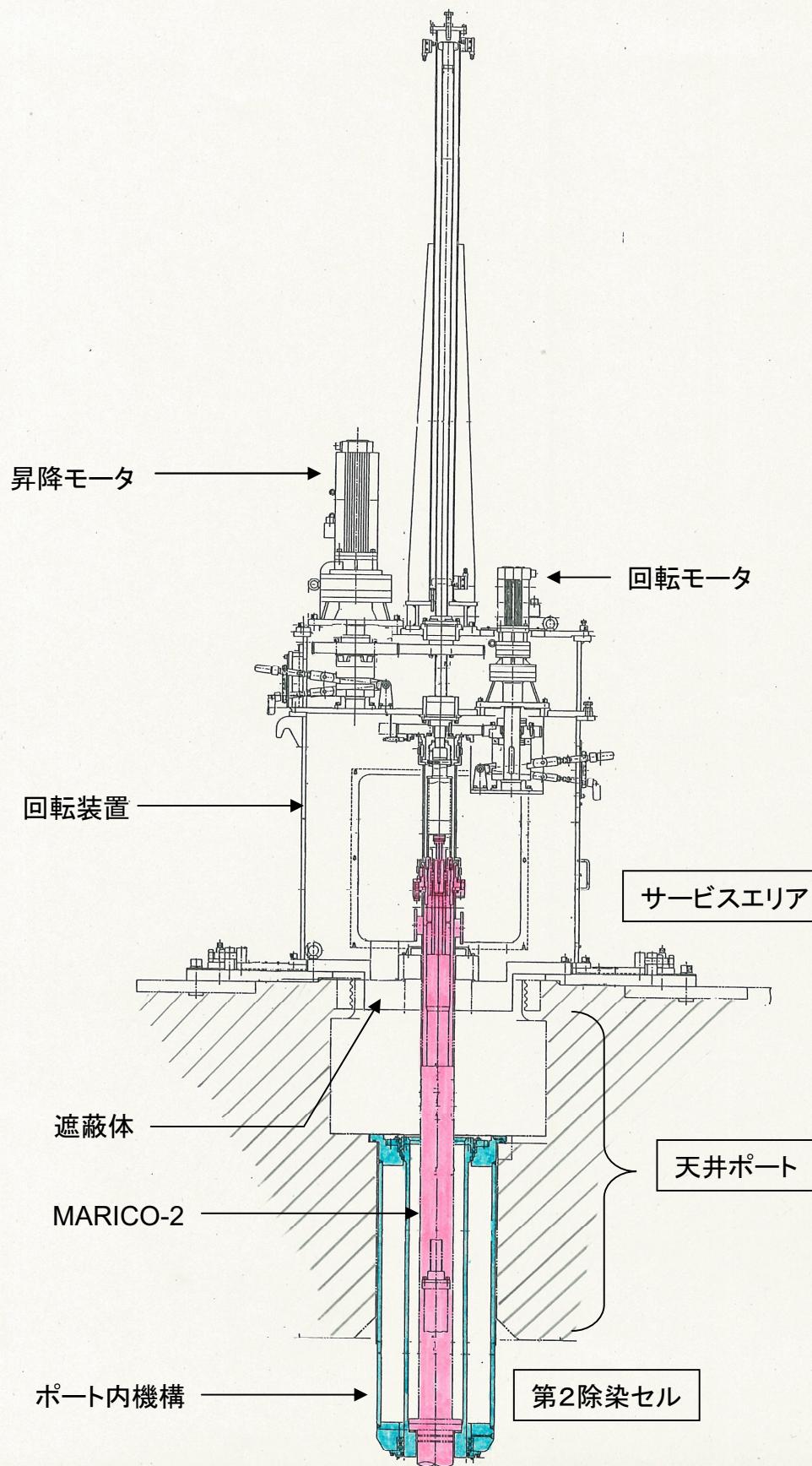


図3-3 回転装置とポート内機構

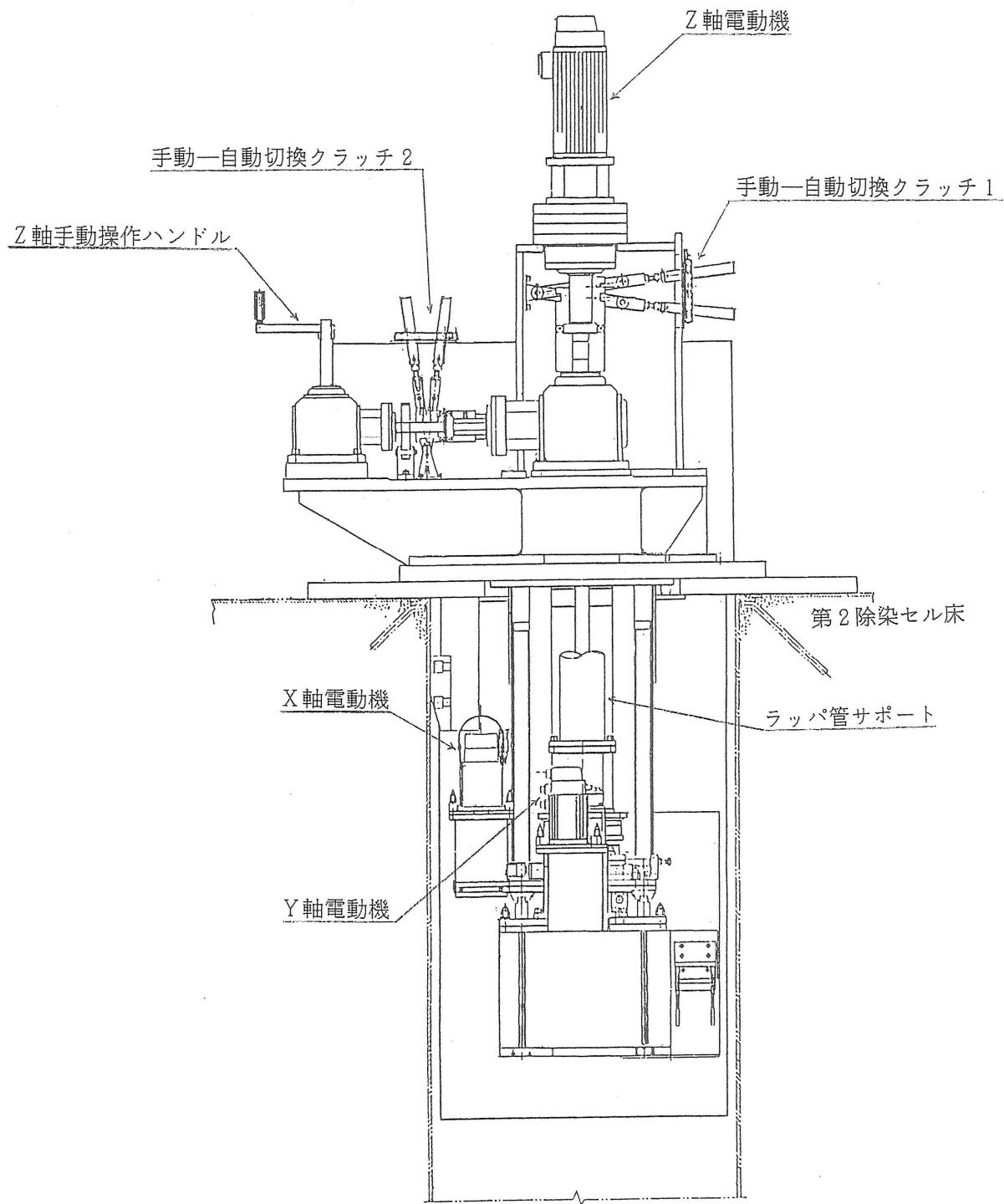


図3-4 再組立装置本体

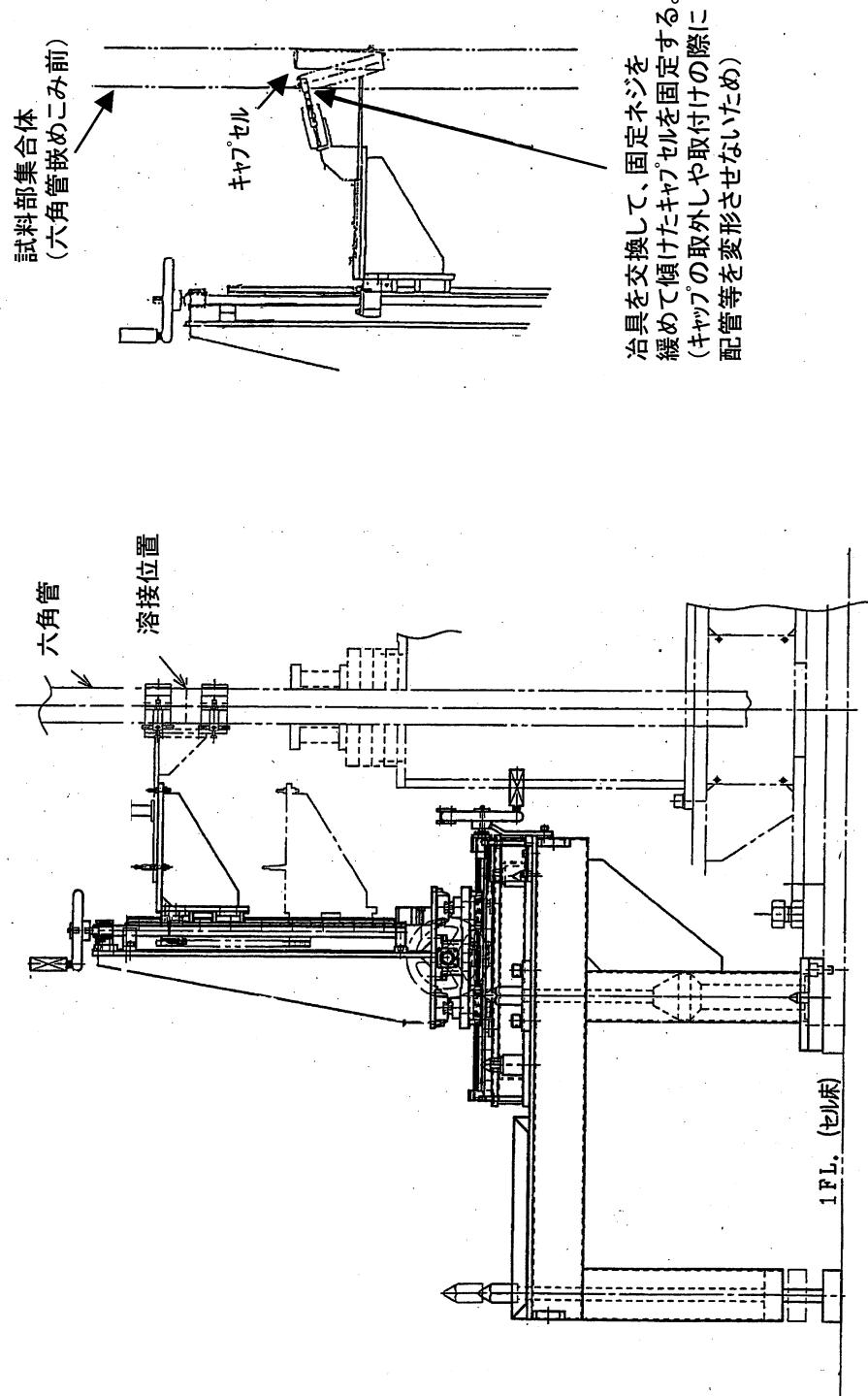


図3-5 準助装置

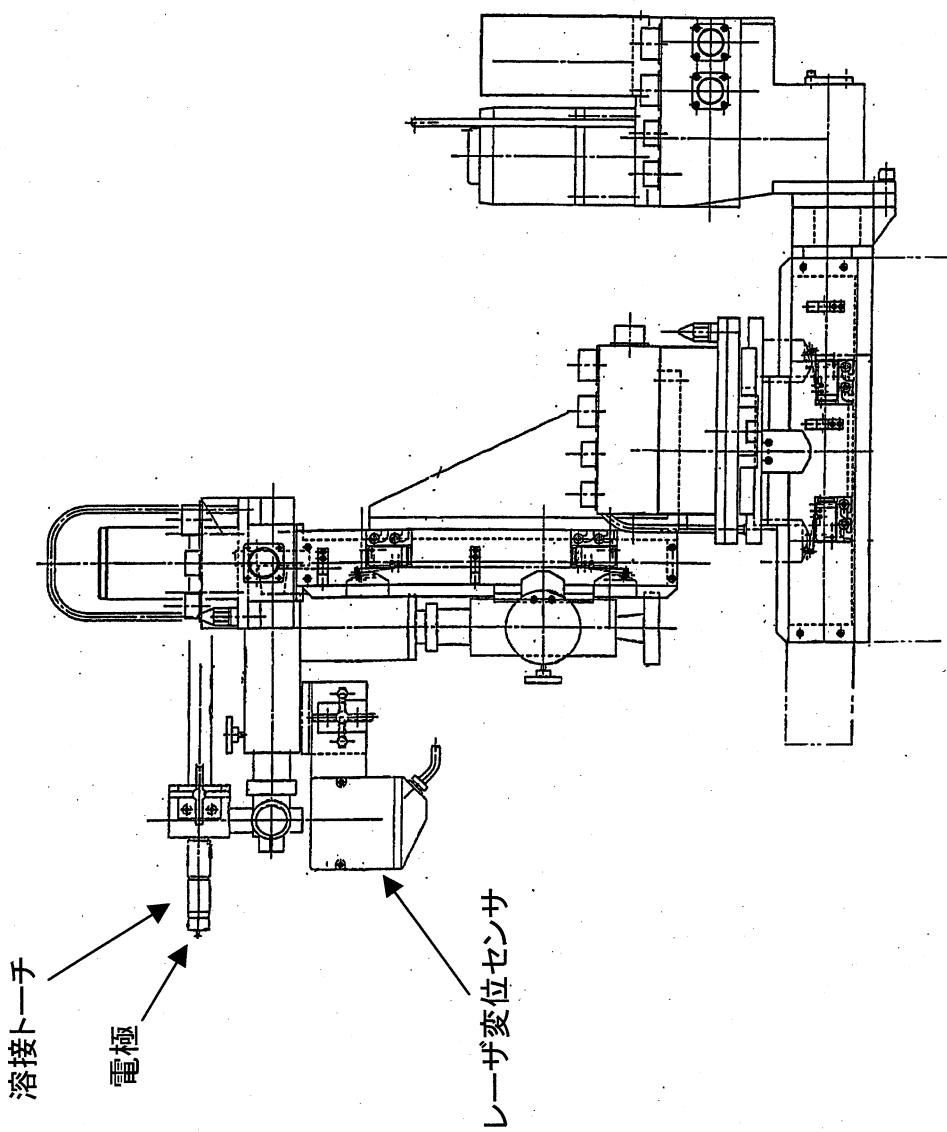


図3-6 溶接装置(上部側)

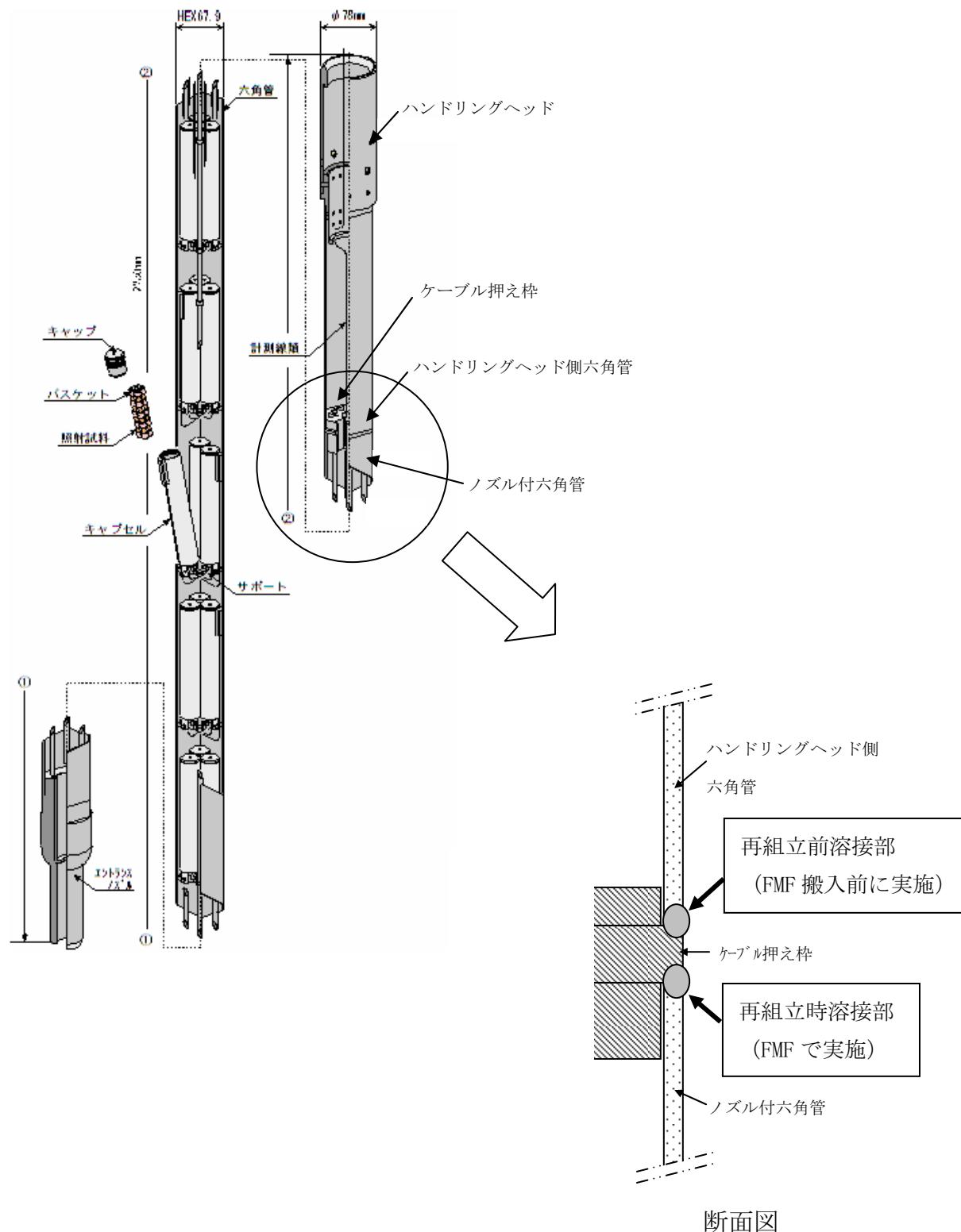


図 3-7 ケーブル抑え枠と六角管の溶接部概略図

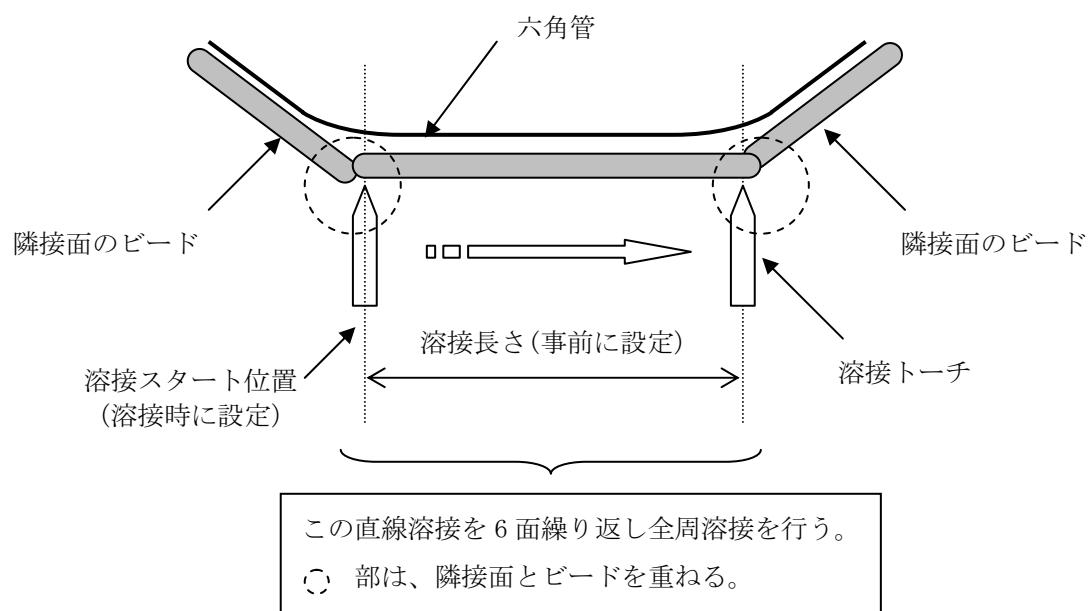


図 3-8 直線溶接による六角管の全周溶接

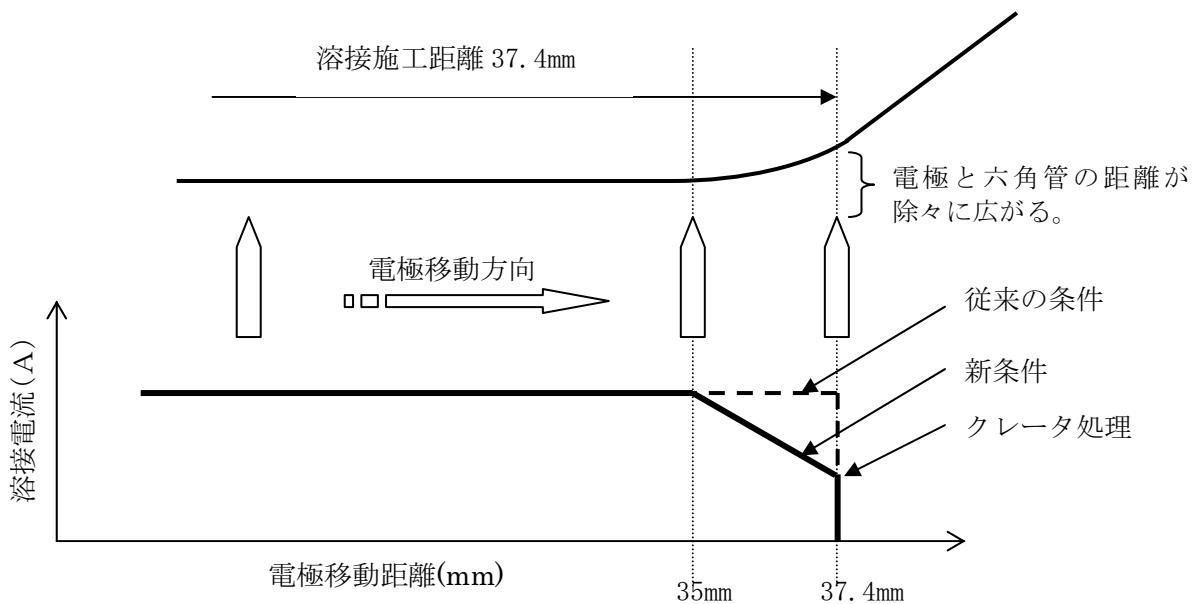
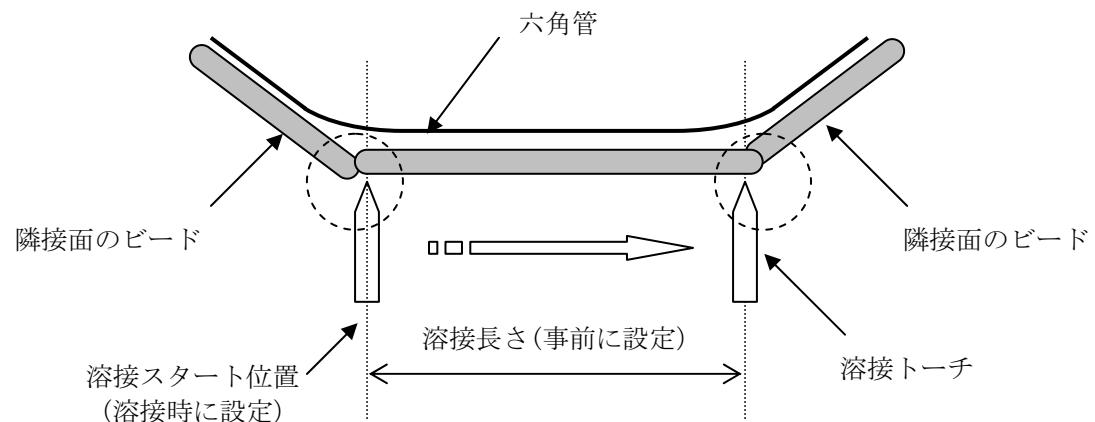


図 3-9 コーナ部溶接時のダウンスロープイメージ



溶接スタート位置	スタート部	エンド部
左に寄った場合	<ul style="list-style-type: none"> ・タッチスタート失敗 ・ビードの乱れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビードの重なり不足
右に寄った場合	<ul style="list-style-type: none"> ・ビードの重なり不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビードが重なり過ぎ ・クレータ余盛大

図 3-10 溶接長の設定とビードの重なり

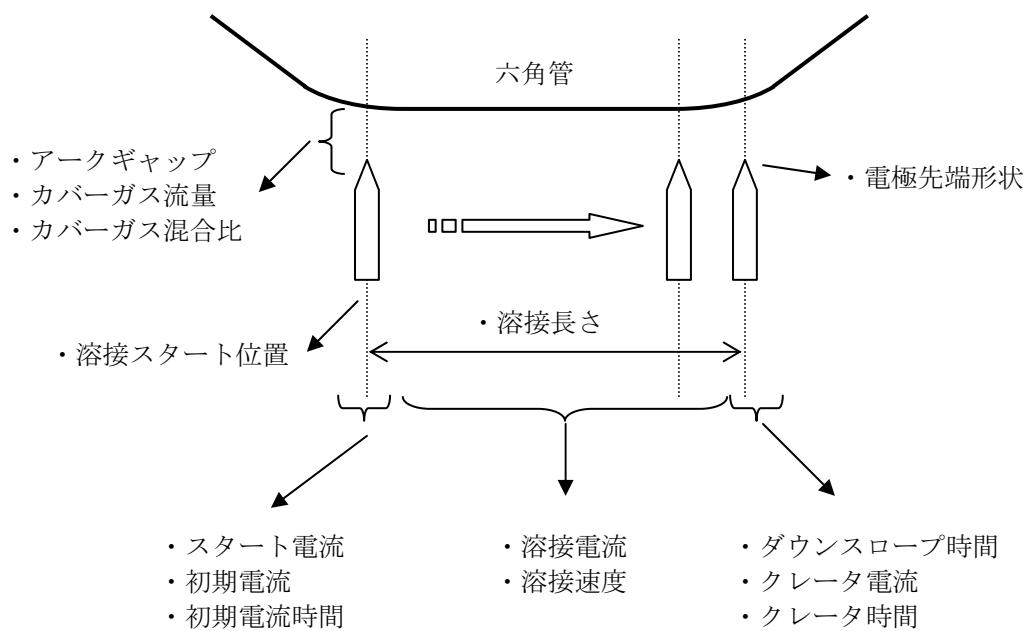


図 3-11 溶接性能に影響を与える諸条件

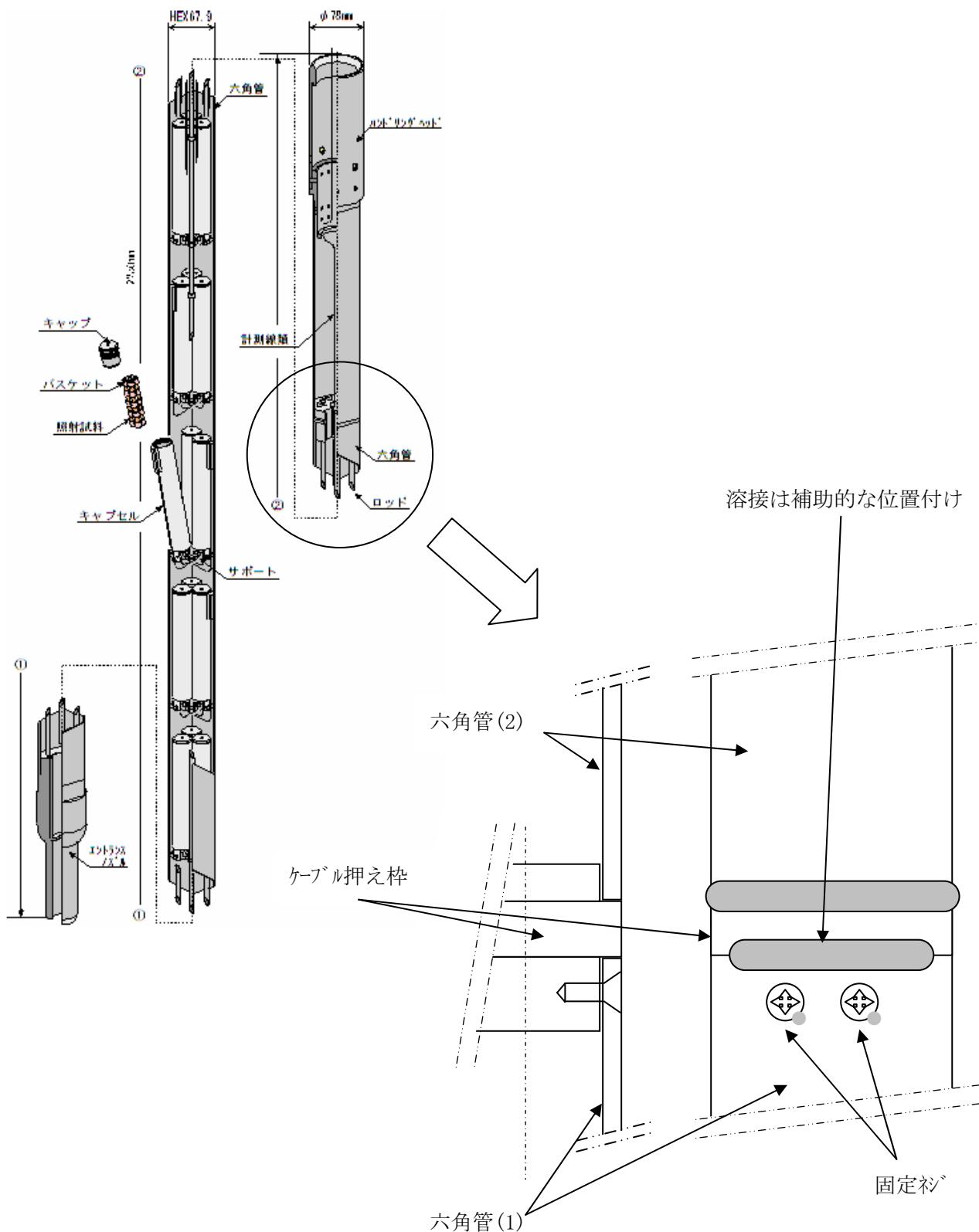
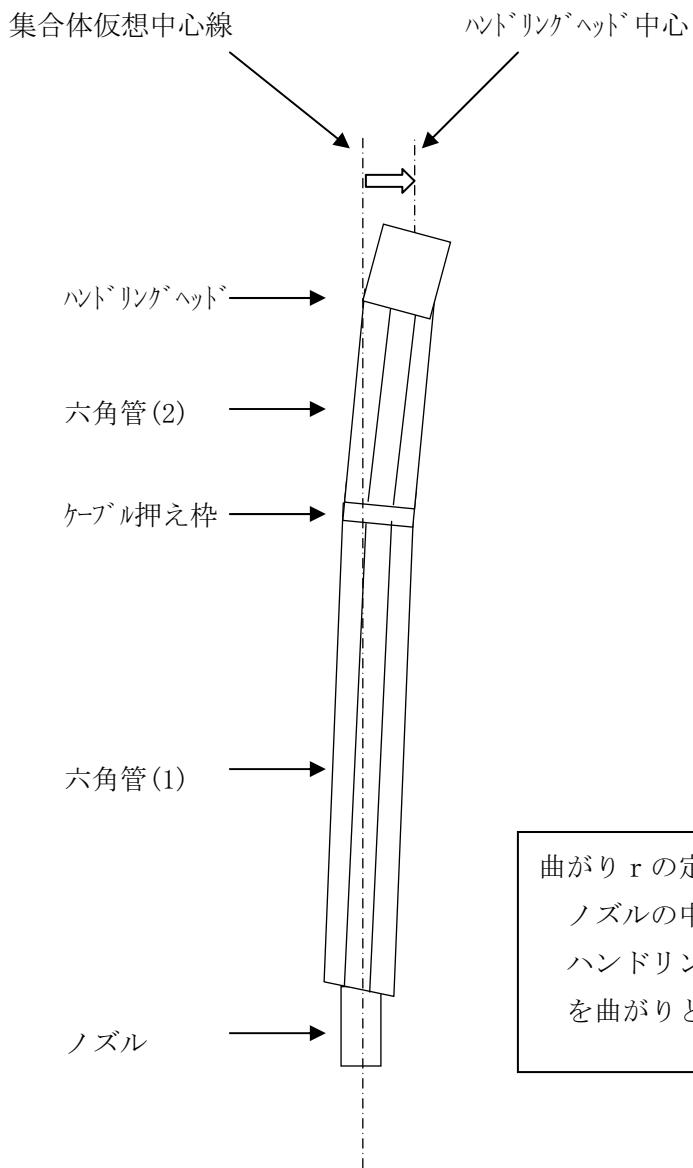


図 3-12 ノズル付六角管固定方法（当初計画）



曲がり r の定義

ノズルの中心線を集合体の仮想中心線とし、
ハンドリングヘッド中心と仮想中心の距離 r
を曲がりとする。

図 3-13 曲がりの定義

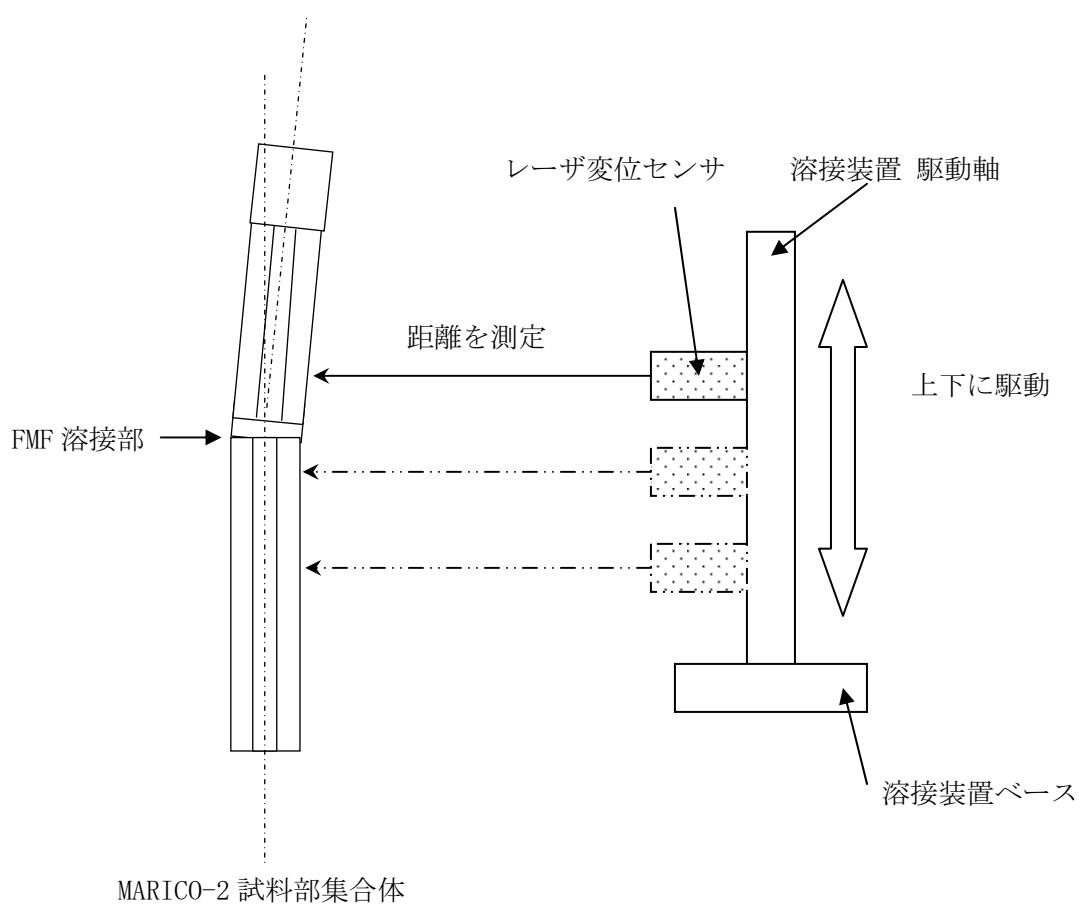


図 3-14 レーザ変位センサによる曲がり測定概略

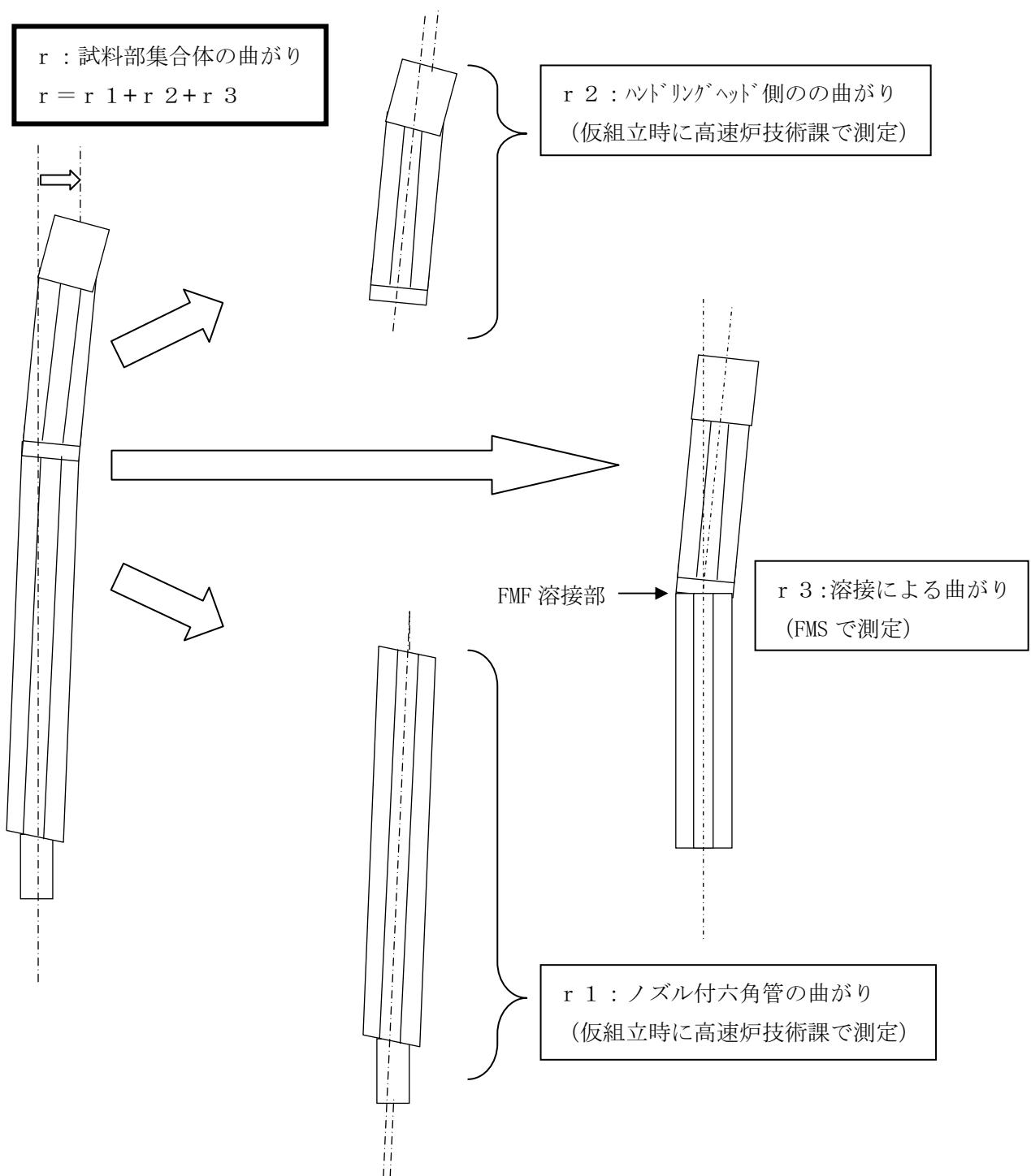


図 3-15 曲がり測定方法概略

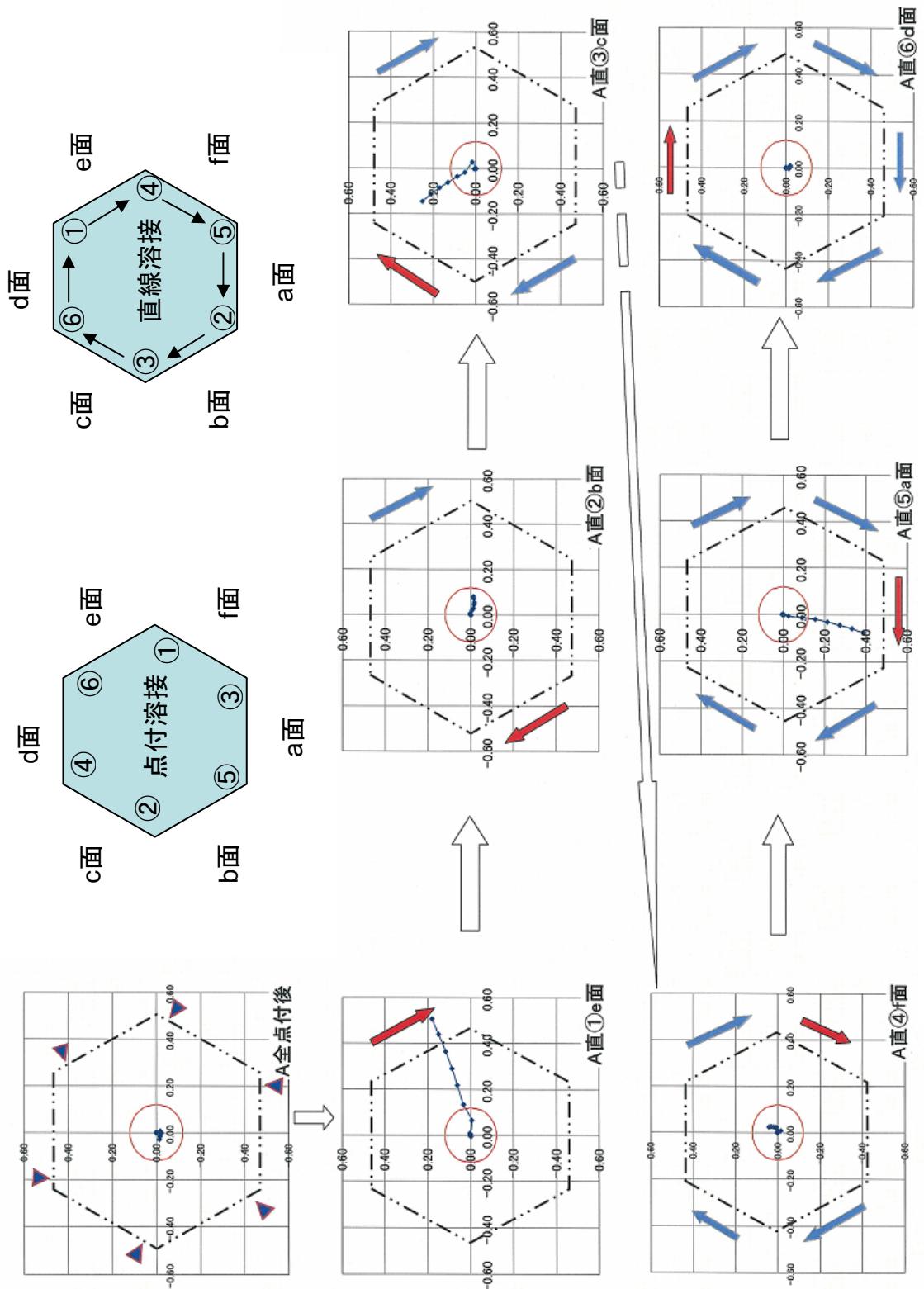


図 3-16 六角管溶接接がり試験結果

図中○は曲がり許容範囲を示す。

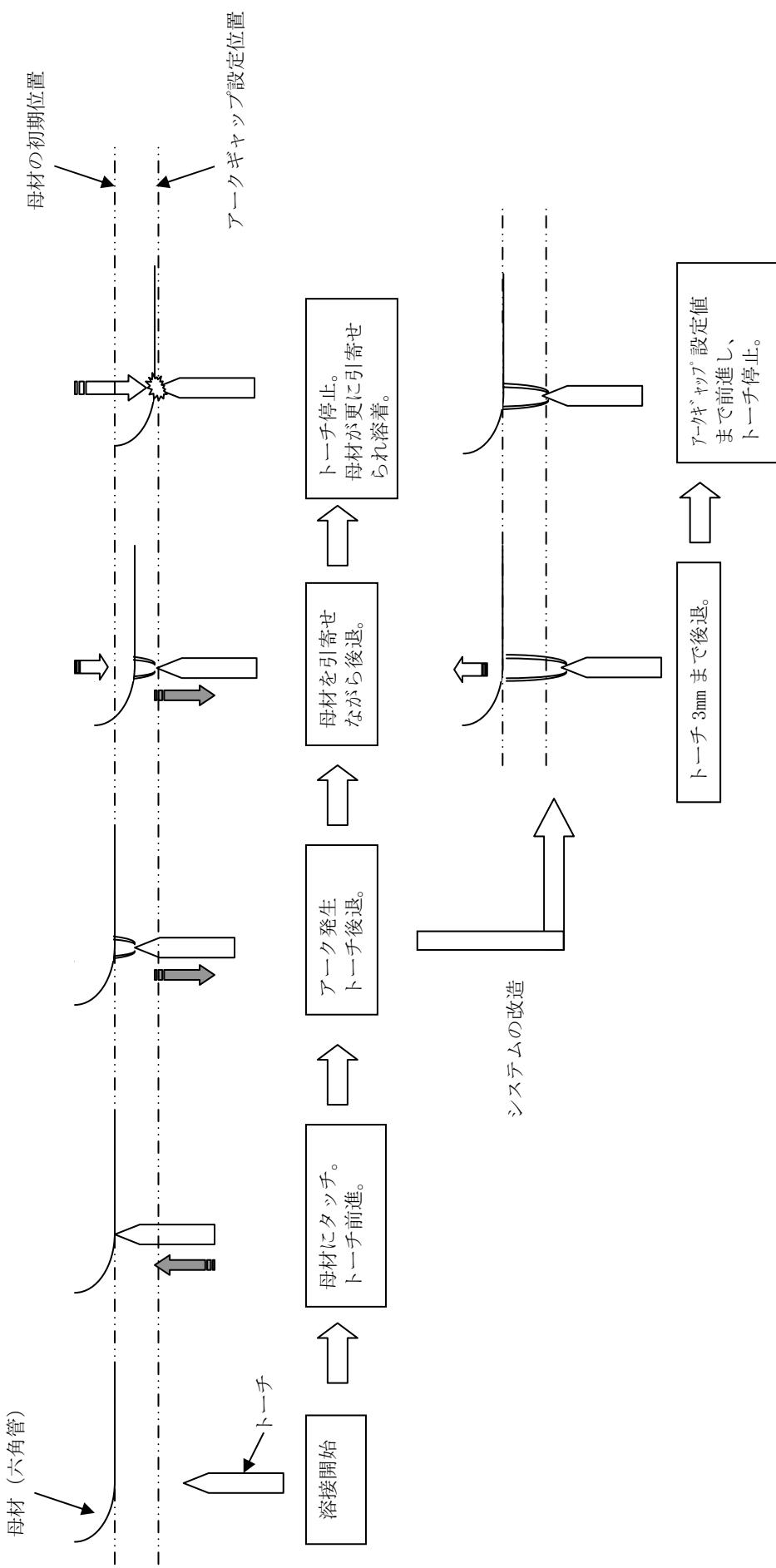
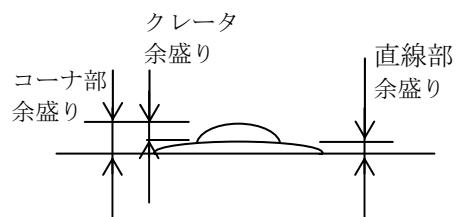


図 3-17 溶接スタート時のトーチ移動システム



※コーナ部において電流を徐々に低下させ溶接する施工（ダウンスロープ施工）を行うことにより、直線部に比べて若干大きかったコーナ部クレータ余盛りとビード幅を小さくすることができた。

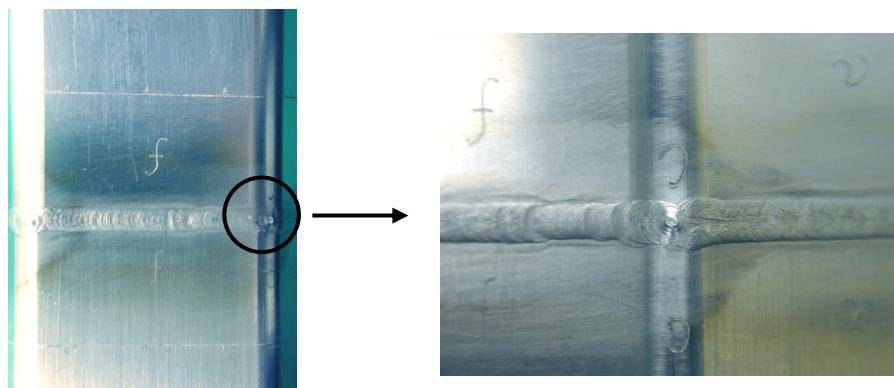


写真 3-1 コーナ部の溶接外観（ダウンスロープ[°] 施工後）

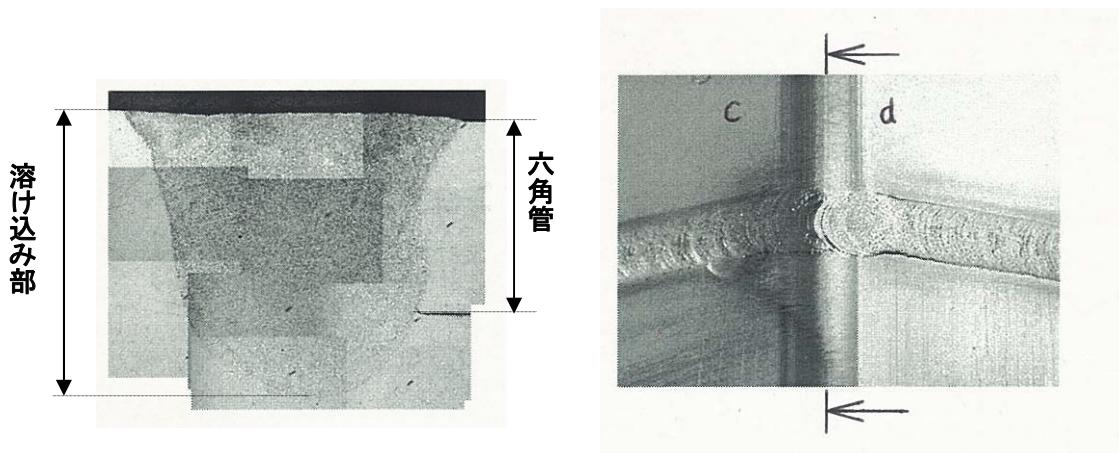


写真 3-2 コーナ部の溶け込み(十分な重なり)

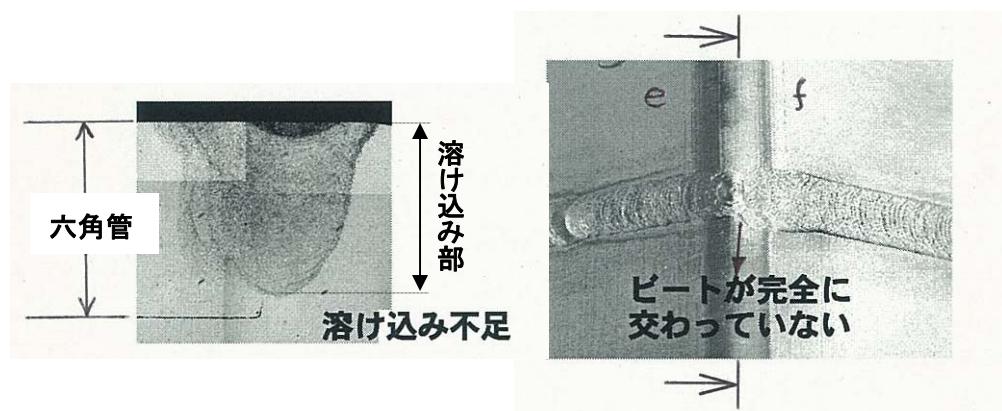


写真 3-3 コーナ部の溶け込み(重なり不十分)

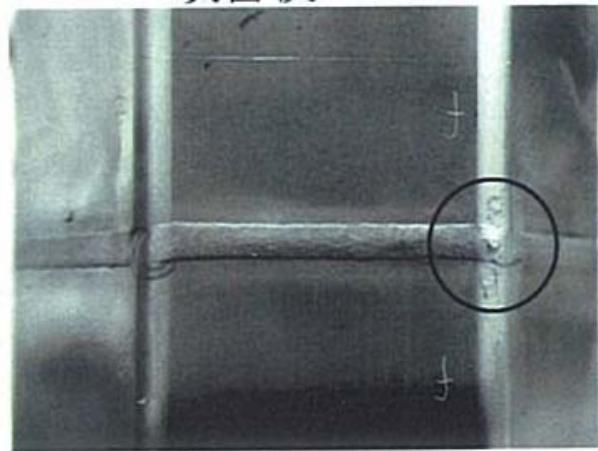


写真 3-4 溶接ビード外観 (SUS316 材)

(溶接電流：約 80A 溶接速度：約 30 秒／面 アーキギャップ：1.4mm)

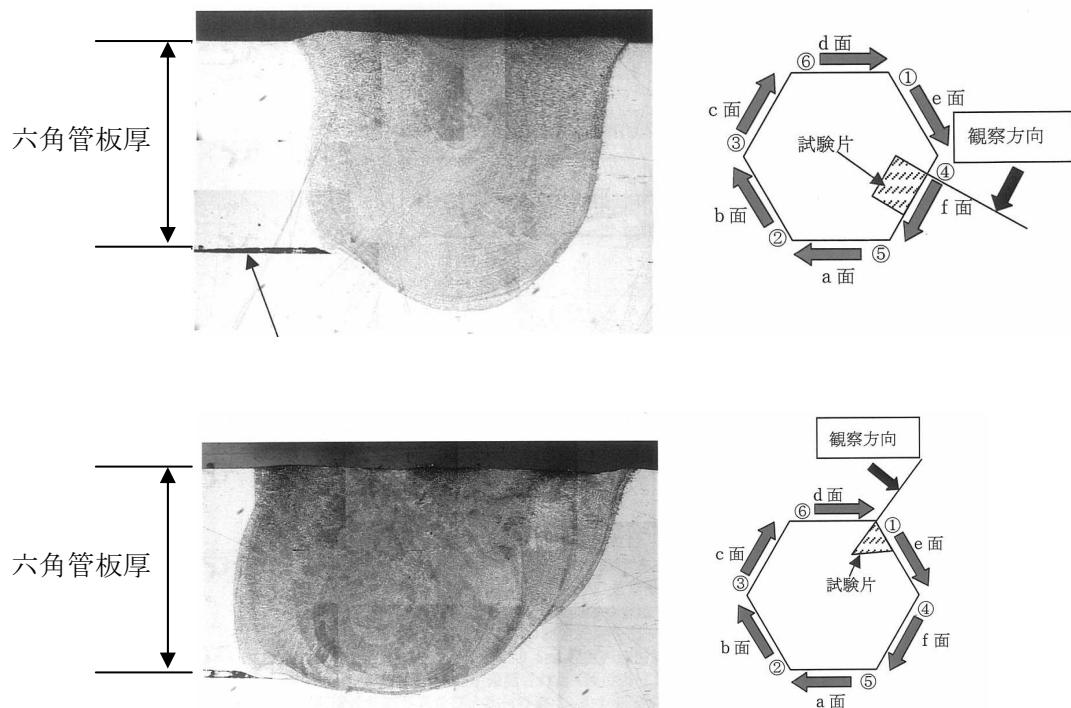
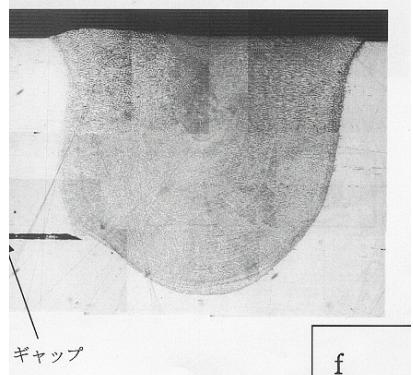
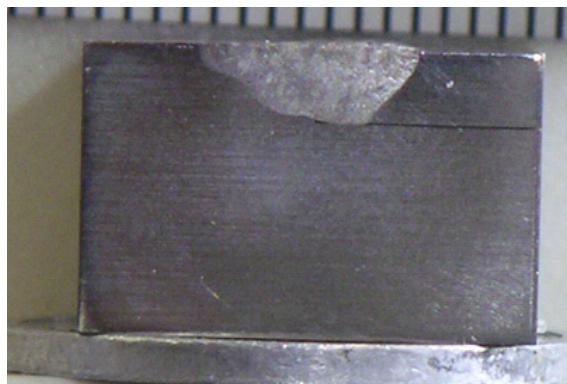


写真 3-5 溶け込み状態 (SUS316 材)

(溶接電流：約 80A 溶接速度：約 30 秒／面 アーキギャップ：1.4mm)



低サルファ材

ケーブル押え枠材質 : SUS316 (S:0.003wt%)

溶接電流 : 約 95A

溶接速度 : 約 50 秒／面

アーキギャップ : 1.0mm

電極先端角度 : 約 20°

ガス流量 : He=10 リットル／分, Ar=10 リットル／分

従来の材料

ケーブル押え枠材質 : SUS316 (S:0.025wt%)

溶接電流 : 約 80A

溶接速度 : 約 30 秒／面

アーキギャップ : 1.4mm

電極先端角度 : 約 20°

ガス流量 : He=10 リットル／分, Ar=10 リットル／分

注 : 六角管材質は共に PNC316 (S:0.004wt%)

写真 3-6 低サルファ材の溶け込み (S : 0.003wt%)

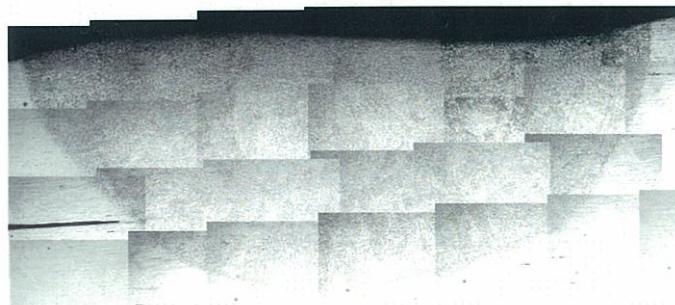


写真 3-7 溶け込み状態（模擬体 S : 0.003wt%）

(溶接電流：約 105A 溶接速度：約 60 秒／面 アーキギヤップ[°] : 1.0mm)



写真 3-8 溶け込み状態（実機 S : 0.001wt%）

(溶接電流：約 105A 溶接速度：約 60 秒／面 アーキギヤップ[°] : 1.0mm)

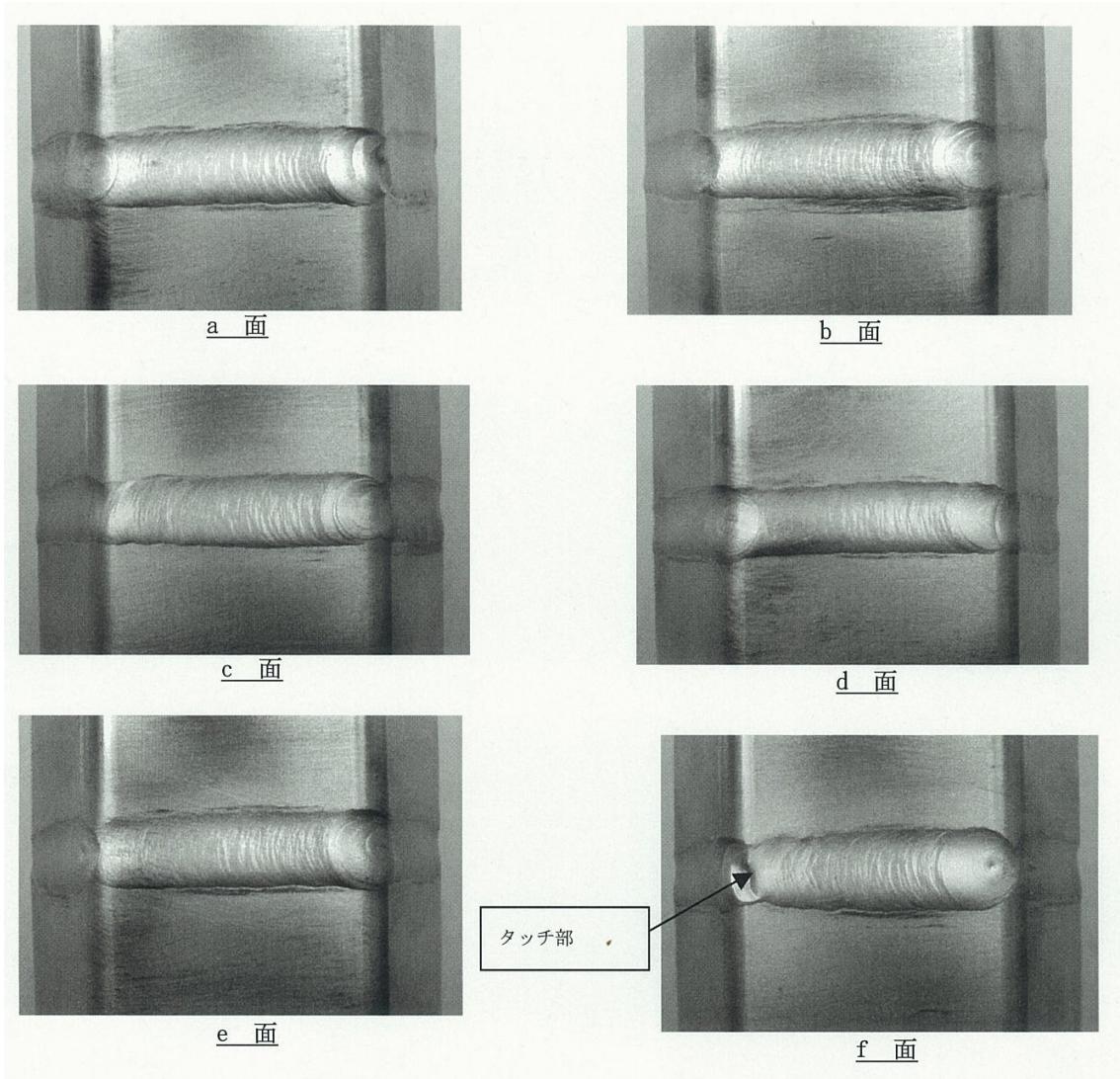


写真 3-9 溶接ビード外観 (実機 S : 0.001wt%)

(溶接電流：約 120A 溶接速度：約 60 秒／面 アーキヤップ[°] : 1.3mm)

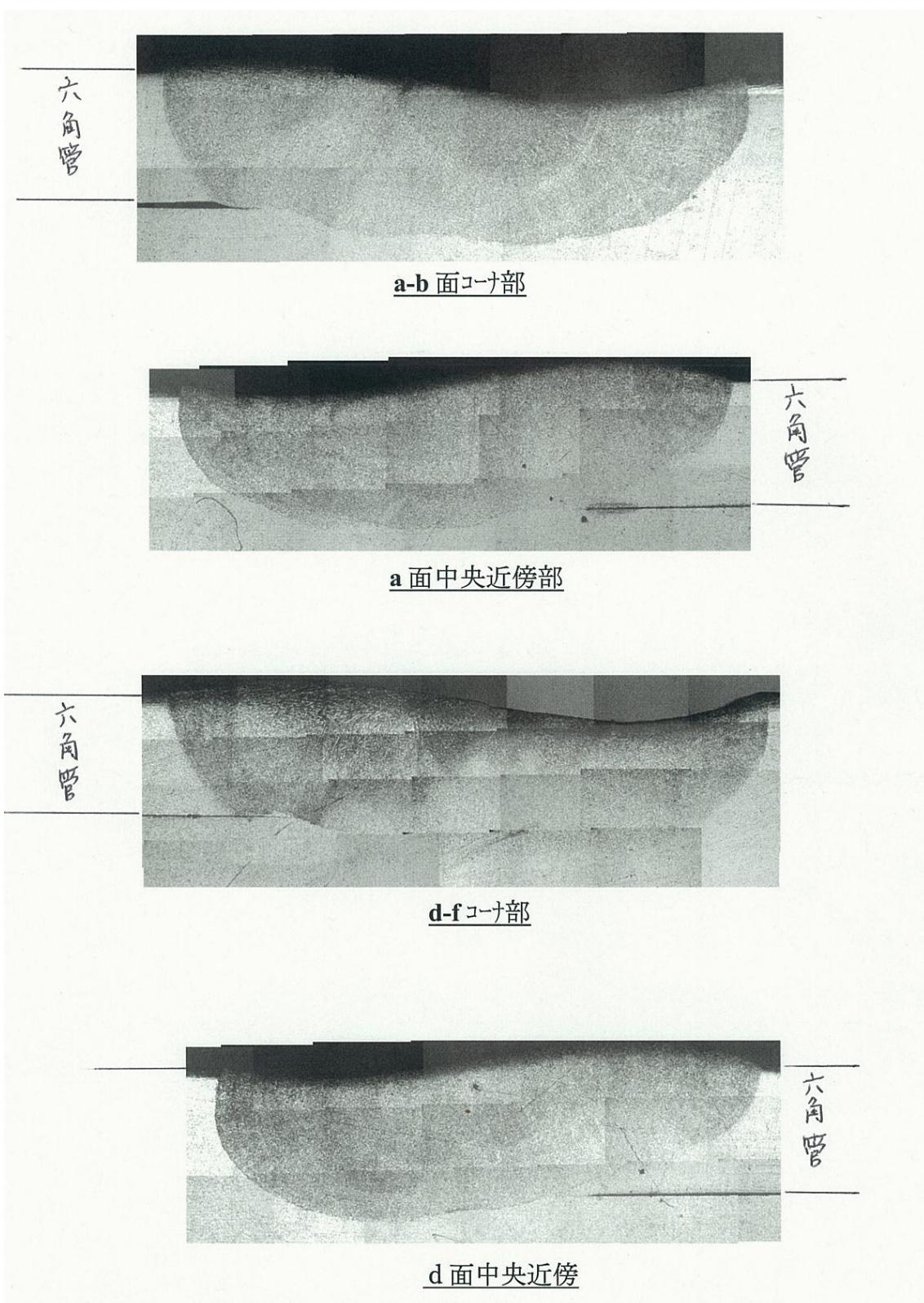


写真 3-10 溶け込み状態（実機 S : 0.001wt%）

(溶接電流：約 120A 溶接速度：約 60 秒／面 アーキギャップ[°] : 1.3mm)

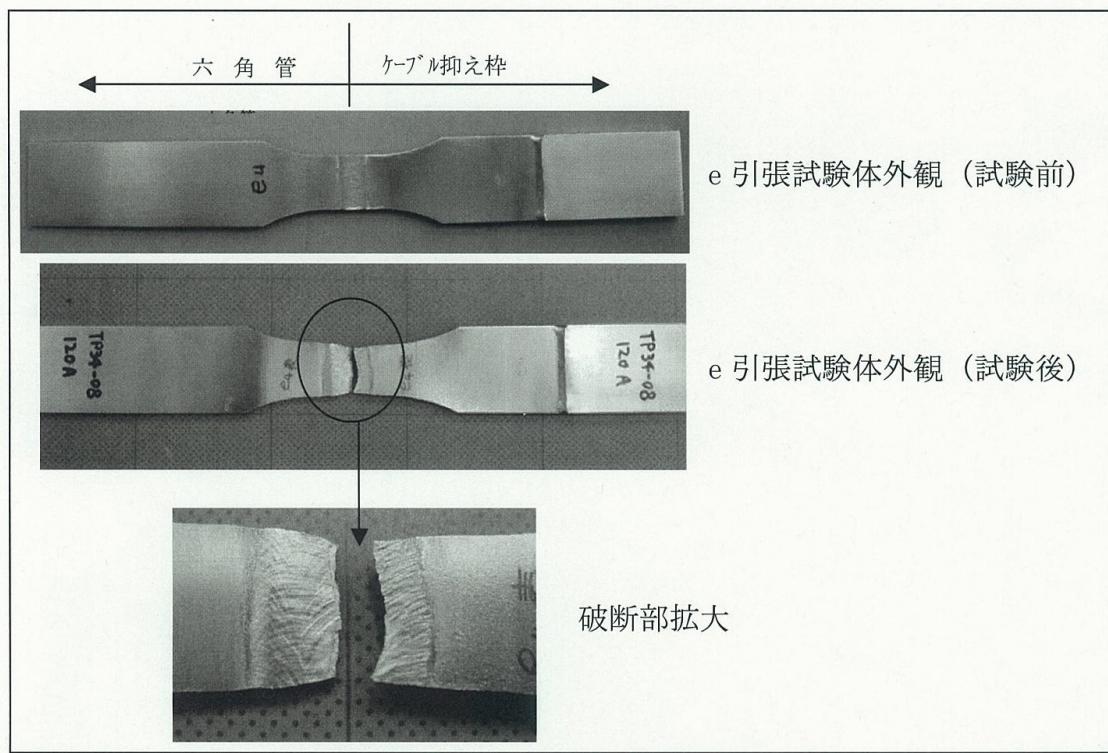
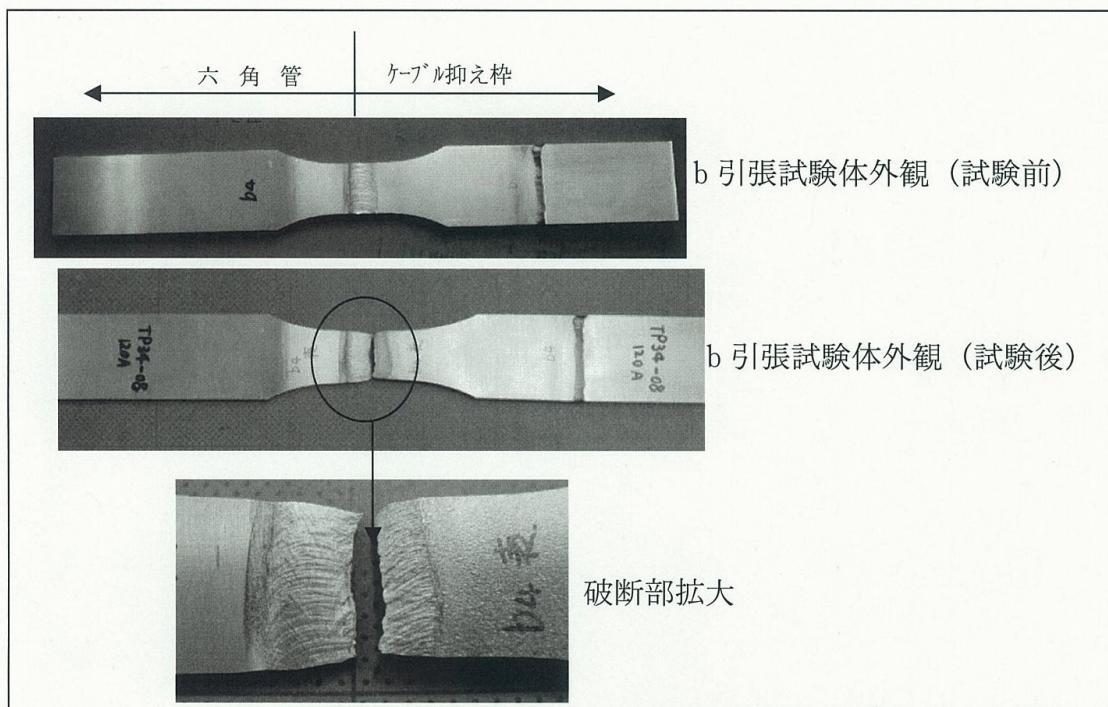


写真 3-11 引張試験結果 (実機 S : 0.001wt%)

(溶接電流：約 120A 溶接速度：約 60 秒／面 アーキギャップ[°] : 1.3mm)

4. MARICO-2 の再組立

4.1 MARICO-2 仮組立品等の受入れ

(1) MARICO-2 仮組立品

MARICO-2 仮組立品は、簡易架台に積載した状態で第 2 コンタクトリペア室壁に設置した（写真 4-1～4-6 参照）。保持装置上部案内管の O リング(4)については緩みが確認されたことから、交換した（図 2-1 及び写真 4-7～4-8 参照）。

(2) バスケット組立品

バスケット組立品（再装荷試料組込み済）は輸送用籠、A 缶、PVC バッグ、保護缶の順に梱包された状態で FMF 第 2 除染セルに受入れ、第 2 試験セルで保管した。保管は汚染防止のため専用の保管容器（内容器及び外容器）にて行った（写真 4-9～4-10 参照）。なお、FMF 搬入時において、再装荷試料の全放射能量は 1.1GBq であった。

(3) ノズル付六角管

ノズル付六角管は取扱時に傷等を付けないよう綿手袋を着用し、管理区域内に人手にて持ち込んだ（写真 4-11～4-12 参照）。

4.2 MARICO-2 の再組立

(1) MARICO-2 仮組立品の第 2 除染セル設置

第 2 コンタクトリペア室壁に設置した簡易架台から、MARICO-2 仮組立品のみを吊上げて第 2 除染セル天井ポートに設置した（図 3-1 及び写真 4-13～4-16 参照）。

(2) 再組立装置（回転装置）の取付け、動作確認、治具等の取合確認

MARICO-2 は運転用駆動部と試料部集合体が温度の制御や計測のための配管で繋がれており（図 2-1、2-2 参照）、運転用駆動部の代わりに吊具を取り付けた状態で FMF に搬入された。配管は保持装置の上部側に設けられたカプラで切り離され、保持装置上端から 0.5m 程度はみ出た状態であった。回転装置への取り付けのため、吊具を取り外してはみ出ている配管を折り曲げ、養生を行った（写真 4-17～4-19 参照）。次に、継手類の取外しを行い（写真 4-20～4-21 参照）、昇降継手、旋回継手を取付け、回転装置に接続して動作確認を行った（写真 4-22～4-28 参照）。その結果、昇降・旋回共に正常に動作し、継手と MARICO-2 の干渉も無いことが確認された。

(3) 再装荷試料（バスケット組立品）の装填

MARICO-2 仮組立品の試料部集合体に取付けられているキャップセルに、以下の手順でバスケット組立品を装填した（図 2-2 参照）。

キャップセル固定ネジを緩め、外向きに傾け、キャップセル上部の二面幅に廻り止め治具を取付けた後に、M/S マニプレータでキャップを取り外した。キャップセル内部にバスケット組立品を装填後、キャップ及びキャップセル固定ネジを締め付け、キャップセルを所定の位置に設置した。ここで、キャップはトルクレンチを用いて規定の締付トルク

(27.5 N・m) に締め付け、固定ネジは廻り止め溶接（点付溶接）を行った。以上の作業は再組立対象キャプセル 4 個（2-A、2-B、2-C、4-A）について行った（写真 4-29～4-31 参照）。

(4) 試料部集合体の組立

ノズル付六角管は試料部集合体を挿入した後、ケーブル押さえ枠に嵌め込んだ。嵌合部に仮止め用の点付溶接を施した後に、ノズル付六角管とケーブル押さえ枠を周溶接にて溶接固定した（写真 4-32～4-36 参照）。ノズル付六角管とケーブル押さえ枠からハンドリングヘッドまでの部位（図 3-7 参照）は製作時に曲がりが発生している。FMF ではその曲がりの影響を緩和するよう溶接面の順番を定め、各面溶接後の曲がり測定結果を確認しながら、溶接を行った。その結果、炉内装荷基準内に集合体曲がりを抑制することが出来た。

4.3 MARICO-2 組立品の払い出し

MARICO 取扱機（図 4-1 参照）を受入れ、MARICO-2 組立品を収納し、「常陽」メンテナンス建家に払い出すことにより、継続照射準備を完了した。詳細な内容を以下に示す。

(1) MARICO 取扱機の受入れ

FMF 増設ローディングドックへ MARICO 取扱機を積載した運搬車両を受入れ、車両上で MARICO 取扱機を横置き状態から斜め置き状態にして移送架台に固定し、サービスエリアに搬入した（写真 4-37～4-38 参照）。

(2) MARICO-2 組立品の収納

①装荷用ハンドリングキャップ及びハンドリングヘッドの取付け

MARICO-2 組立品の払い出し準備として、MARICO-2 組立品上部に装荷用ハンドリングキャップと、ハンドリングヘッドを取り付けた。ハンドリングヘッドの取付けにあたっては、MARICO-2 上部の配管との干渉を防ぐために、配管を曲げて装荷用ハンドリングキャップの内側に収納した（写真 4-39～4-40 参照）。

②MARICO 取扱機の使用前点検

MARICO 取扱機の外観検査、使用前の漏えい率測定等を実施し、異常のないことを確認した。但し、保持機構の一部に動作不良箇所が確認されたことから、補修を行った。

③MARICO 組立品の収納

MARICO-2 組立品を払出方位に設定した後、収納アダプタをポート P-22 に設置し、MARICO 取扱機を設置した（写真 4-41～4-42 参照）。次に、ドアバルブを開放して MARICO 取扱機のグリッパと MARICO-2 組立品のハンドリングヘッドを接続し、取扱機内に収納した。取扱機内の MARICO-2 は保持機構により固定した。最後に、MARICO 取扱機を収納アダプタから吊上げ、移送架台に積載し、横倒し状態で固定した（写真 4-43 参照）。

(3) MARICO-2 組立品の払い出し

MARICO 取扱機を横置き状態から斜め置き状態にして移送架台に固定し、運搬車両に積載

した。運搬車両上で、MARICO 取扱機を斜め置きから横置き状態にして、FMF 増設ローディングドッグから、「常陽」メンテナンス建家に運搬した（写真 4-44～4-46 参照）。

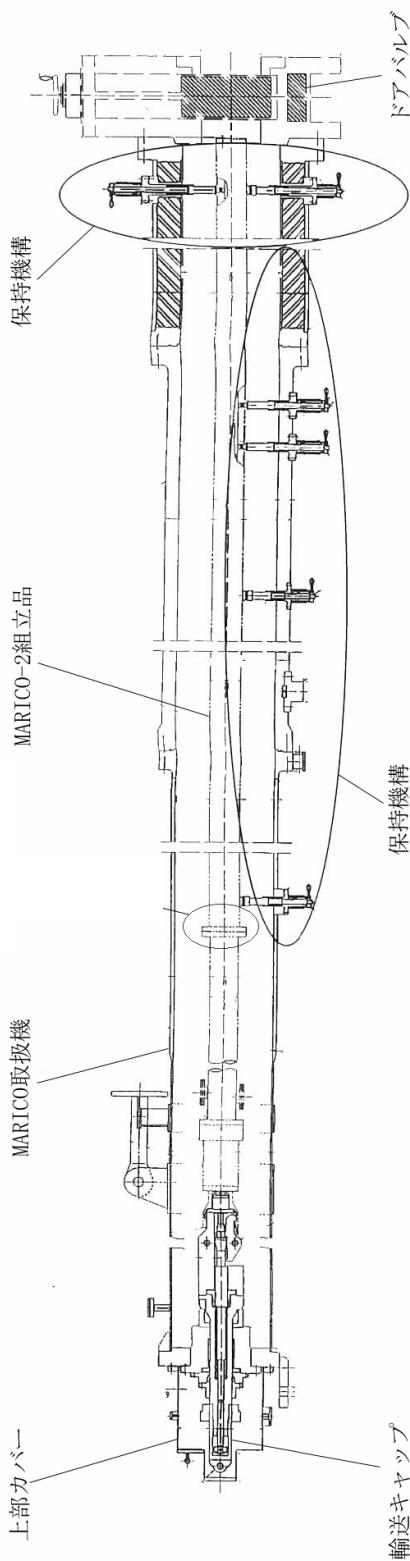


図 4-1 MARICO 取扱機 (MARICO-2 組立品収納状態)

	
写真 4-1 MARICO-2 仮組立品の受入れ (第 2 ローディングドック)	写真 4-2 O リング(4)のクリスマップ [°]
	
写真 4-3 MARICO-2 仮組立品の移送 (第 2 ローディングドック→サービスエリア)	写真 4-4 MARICO-2 仮組立品の仮置
	
写真 4-5 MARICO-2 仮組立品の起立	写真 4-6 第 2 コンタクトリペア室壁に設置

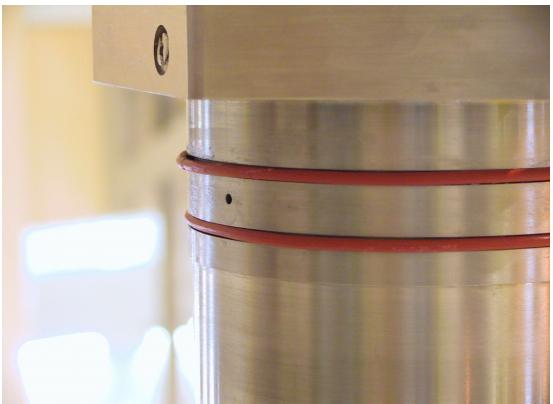
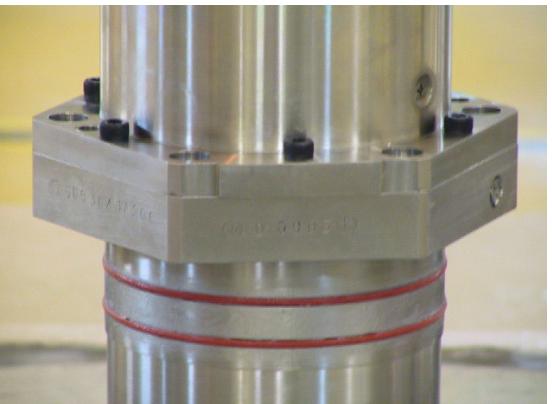
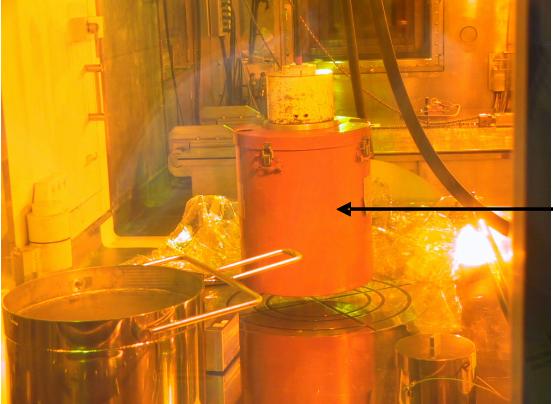
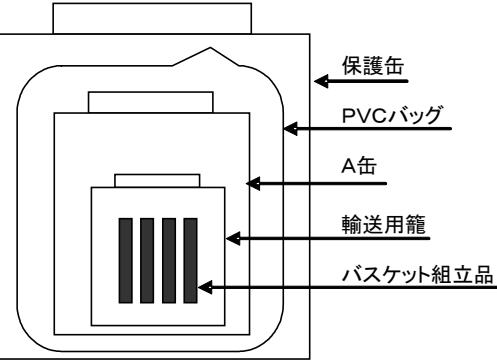
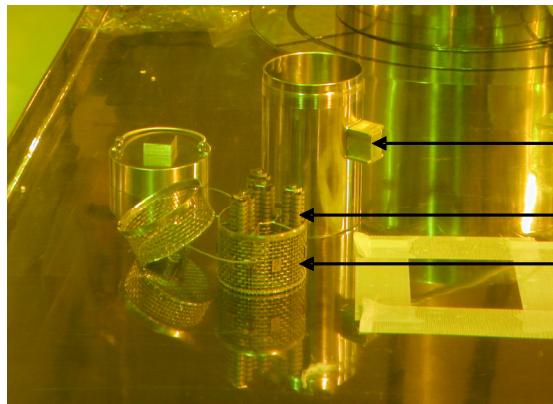
	
写真 4-7 O リング(4) 交換前	写真 4-8 O リング(4) 交換後
	
写真 4-9 バスケット組立品の受入れ (第 2 除染セル)	
	<p>内容器</p> <p>バスケット組立品</p> <p>輸送用籠</p>
写真 4-10 バスケット組立品	

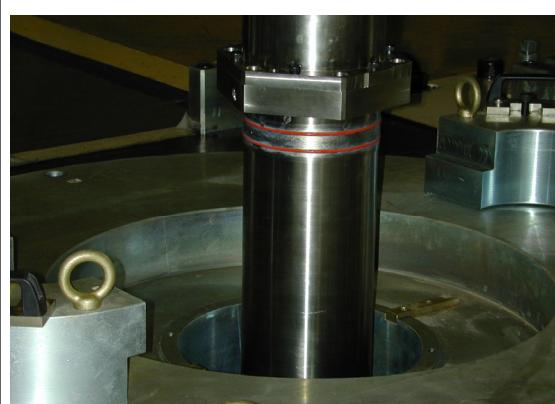
	
写真 4-11 ノズル付六角管の受入れ(ノズル部)	写真 4-12 ノズル付六角管の受入れ(刻印部)
	
写真 4-13 MARICO-2 仮組立品の移動 (簡易架台→P-22)	写真 4-14 天井ポート P-22 への設置
	
写真 4-15 P-22 へ設置(O リング(4)の外観確認)	写真 4-16 P-22 へ設置完了

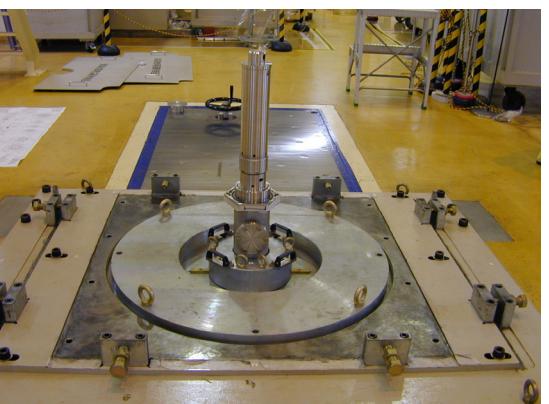
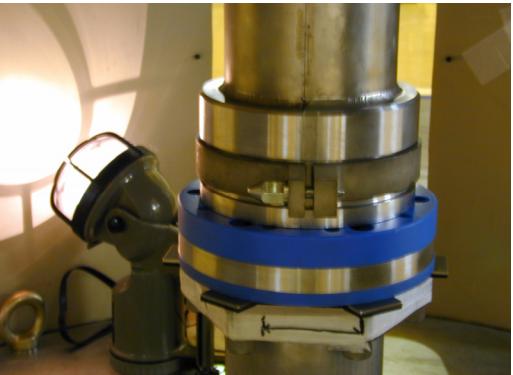
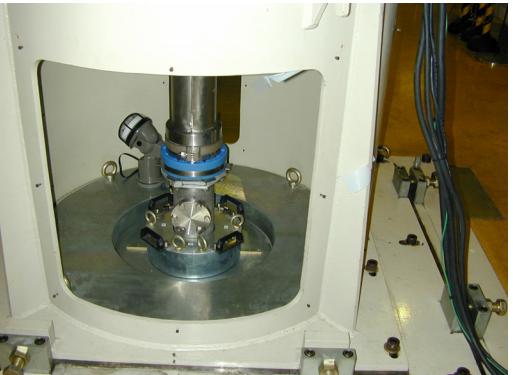
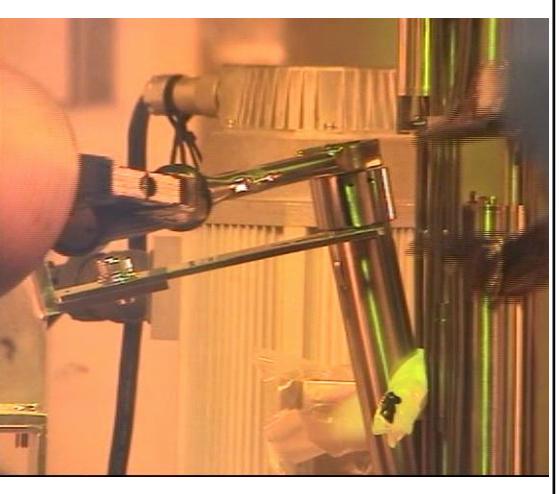
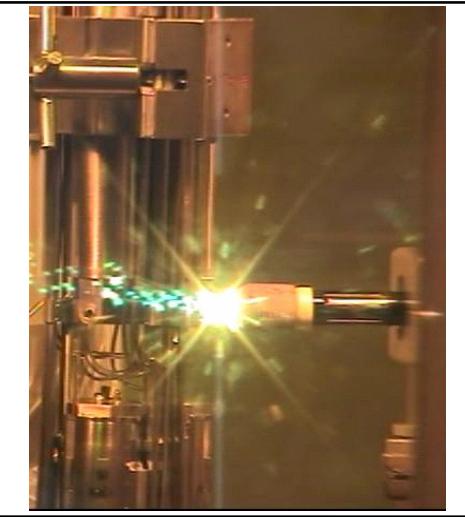
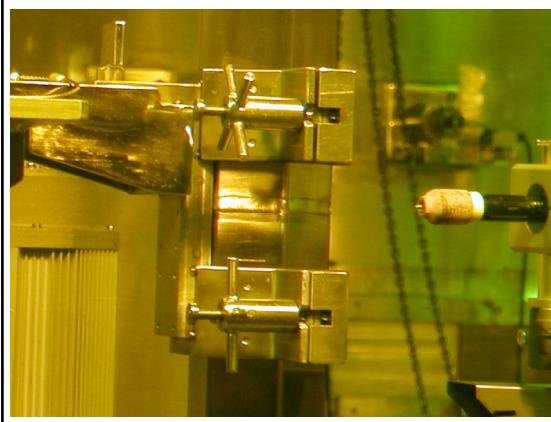
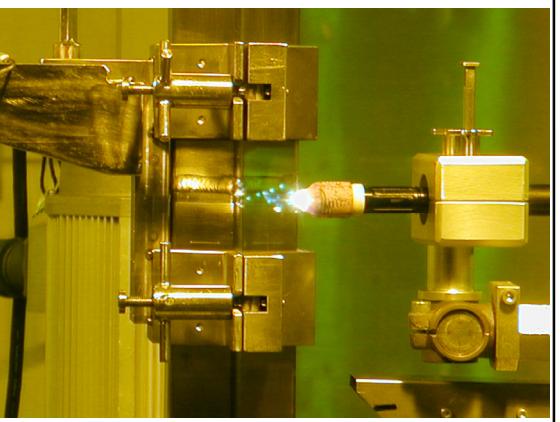
	
写真 4-17 吊具の取外し	写真 4-18 配管曲げ作業
	
写真 4-19 配管の養生	写真 4-20 継手の取外し
	
写真 4-21 内側延長管支持筒の取外し	写真 4-22 昇降継手の取付け

	
写真 4-23 回転装置の設置	写真 4-24 回転装置と MARICO-2(昇降継手)の接続
	
写真 4-25 動作確認(干渉の有無確認)① (固定ボルトと下部ハウジング胴)	写真 4-26 動作確認(干渉の有無確認)② (昇降継手と下部ハウジング胴キー)
	
写真 4-27 旋回継手の取付け①	写真 4-28 旋回継手の取付け②

 A photograph showing a mechanical assembly process. A metal basket is being attached to a vertical pipe or tube. The basket has a ribbed cylindrical shape and is secured with a clamp or bolt.	 A photograph showing a worker's hands using a welding torch to attach an upper end cap to a vertical pipe. Sparks are visible at the welding point.
写真 4-29 バスケット組立品の装荷	写真 4-30 上部端栓締め付け
 A photograph showing a spot welding process. A bright, glowing arc is visible between a electrode and a metal part, likely a lock nut, held in place by a clamp.	 A photograph showing a nozzle-attached hexagonal tube being inserted into a larger component. The tube has a nozzle protruding from one end.
写真 4-31 固定ネジの廻り止め溶接	写真 4-32 ノズル付六角管の嵌め込み
 A photograph showing the completed insertion of the nozzle-attached hexagonal tube into its housing. The tube is now fully embedded and secured.	 A photograph showing a spot welding process where a nozzle-attached hexagonal tube is being welded to a cable holder. Sparks are visible at the welding point.
写真 4-33 ノズル付六角管嵌め込み完了	写真 4-34 ノズル付六角管とケーブル押え枠の点付溶接

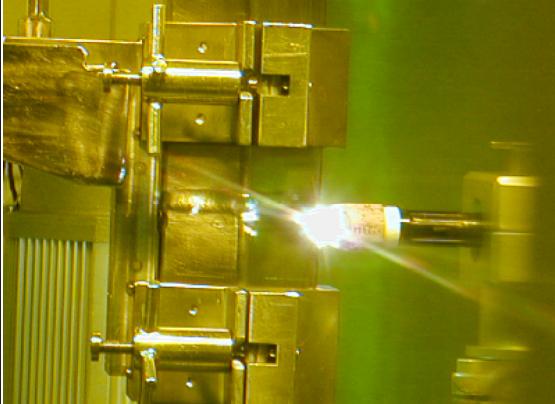
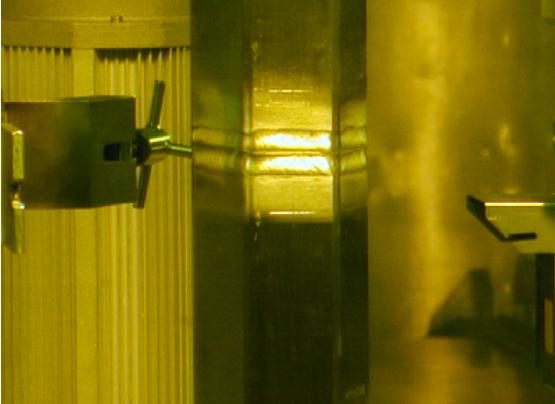
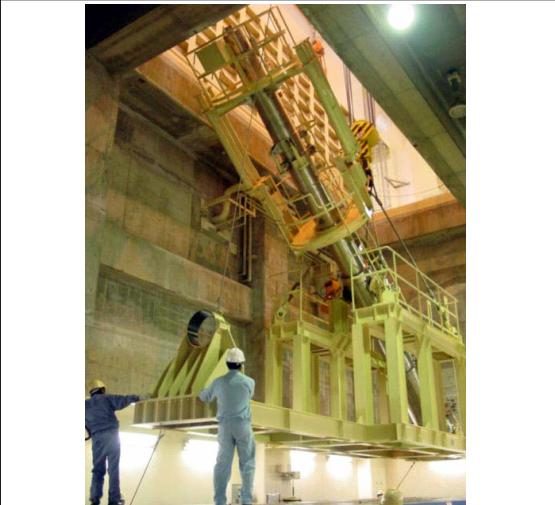
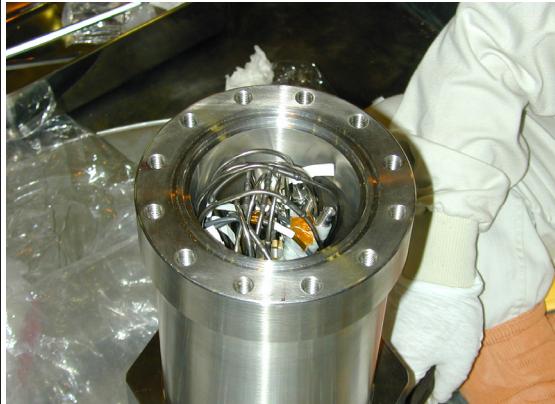
	
写真 4-35 ノズル付六角管とケーブル押え枠の周溶接	写真 4-36 周溶接完了
	
写真 4-37 MARICO 取扱機受入れ(第2ローティングドック)	写真 4-38 MARICO 取扱機受入れ(サービスエリア)
	
写真 4-39 装荷用ハンドリングキャップの取付け	写真 4-40 ハンドリングヘッドの取付け

	
写真 4-41 収納アダプタ設置	写真 4-42 MARICO 取扱機設置
	
写真 4-43 MARICO 取扱機を移送架台に積載(横置き)	写真 4-44 払出準備(斜め置き)
	
写真 4-45 運搬車両に積載	写真 4-46 メンテナンス建屋に運搬車両を入域

5. おわりに

MARICO-2 再組立のため、MARICO 再組立技術を確立した。

MARICO 再組立装置の基本設計から製作を行い、総合試運転、溶接試験を通して、装置の改造、手順を確立した。また、六角管の遠隔溶接に関しては、検査要求事項の追加等があったものの、セル内、セル外でのモックアップ試験を繰り返し、溶接条件を確立した。これを受け、平成 16 年から 17 年にかけ、実機 MARICO-2 の再組立を無事完了した。

MARICO 再組立技術の開発成果を以下に示す。

- (1) MARICO-2 再組立装置の製作及び改造を行うことにより、使用時以外のセル外保管を可能とすると共に、遠隔操作によるセル内の装置設置・撤去の手法を確立した。
- (2) シングルトーチ-直線運動タイプの溶接装置を用いて六角管の周溶接を行った。コーナ部の溶接では、直線部からコーナ部にかかる際、溶接電流を段階的に低下させる（ダウントロープ）ことでビート形状の安定を図り、隣接面の溶接開始位置合わせにより、ビードの途切を無くし、溶け込みを確保することができた。
- (3) セル天井から吊り下げられた集合体の曲がりを測定するために、測定時の軸ぶれ、移動の無い、非接触式レーザ変位計を用いた曲がり測定方法を開発した。
- (4) 六角管の一面を溶接する毎に集合体の曲がりを測定することで、集合体の曲がりを抑制した溶接施工を可能にした。
- (5) 原子力用 SUS316 材（低サルファ材）は SUS316 材と比べ、成分中の硫黄含有量が極端に低いことから、溶け込みが極端に浅くなることが分かった。溶接中のカバーガスに含まれる He 比を大きくすること、電極形状を鈍角にすること、溶接速度を低下させること等、複数の溶接パラメータの調整を組み合わせることで、低サルファ材の溶接を可能にした。
- (6) 本開発により溶接タイプの集合体の組立が可能になった。しかし、低サルファ材の溶接を行う場合は、ビードのダレや溶け込み形状が浅くなるため、六角管の寸法、試験・検査の要求スペック等を十分検討したうえで、実施の可否を判断する必要がある。

謝辞

本再組立技術の開発に当り、多大なる助言を頂いた環境部 松元慎一郎氏、環境計画課 原田守氏に厚く感謝致します。

参考文献

- 1) 永峯剛、他：“MK-III に向けた照射技術の開発（照射後試験技術の開発）”
サイクル機構技報, No. 21, 別冊 6.2 (2003. 12)
- 2) 西野入賢治、他：“照射後試験施設における「常陽」照射リグの継続照射技術の確立”
動燃技報, No. 74, pp. 80～85 (1990. 6)
- 3) 野上哲也、他：私信 (2001. 6)

This is a blank page.

