

沸騰水型原子力発電所配管モデルエンジニアリング

Model Engineering for Piping Layout of Boiling Water Reactor Nuclear Power Station

原子力発電所では建屋内に多くの機器、配管、換気空調用ダクト、電線管、ケーブルトレイなどが配列されており、図面上で十分検討した配置配管計画を行なっても、現地で実際の据付時に干渉などのトラブルを起こすことが多い。このため、平面的な図面だけでなくプラスチックによる3次元モデルを製作し、十分な検討を行なうことが現地トラブルを減らし、かつ工期短縮及び経済性の向上を図る意味で非常に有効なものとなる。このプラスチックモデルによる検討方法の主な特長は、

- (1) 視覚による3次元の検討ができること。
- (2) 集団思考が可能であること。
- (3) 複雑な図面の解説ミスなどによるトラブルを大幅に低減できること。

である。

今回、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の原子炉建屋のモデルを作製し、機器・配管類の干渉問題の解決、供用期間中検査の作業スペースの確保、及び各種機器・配管の搬入・据付方法の検討の実施、並びに複雑な周囲状況の下で基点と終点だけ与えられた配管ルート決定などのモデルエンジニアリングを行ない、成果を挙げると同時にモデルエンジニアリングが今後のプラントエンジニアリングの有効な手法であることを確認した。

1 緒言

原子力発電プラントの建設においては、関連機器、相互、及び建築物などとの寸法上・性能上の適合性を確立すると同時に、プラント全体の取まとめエンジニアリングを行なうことが要求される。この取まとめエンジニアリングの大きな部分を占めるのが、発電所の建設工事開始前から運転開始時期までの長期にわたって行なわれるプラント配置配管計画業務であり、配管径路計画・機器搬出入計画・据付工法の検討、供用期間中検査作業性の検討、弁操作床計画及び配管付帯物（オリフィス、計器など）の配管設計への反映、更にはこれらのエンジニアリングの工程管理などを含む広範囲に及ぶ業務である。

これらの作業の具体的内容例を次に述べる。

- (1) 配管径路計画で当配管と他の構造物（ダクト、トレイ、放射線遮蔽壁、建築物及び機器）との干渉のチェック及び配管径路を決定するために使用可能な空間の有無の評価
- (2) 径路計画された配管が、空間的・工程的に建屋内に搬入可能で、かつ溶接施工可能であることの評価
- (3) 重要な配管については、配管溶接線の周辺に供用期間中の検査作業に必要な空間が存在することの評価
- (4) 操作可能な位置への弁の配置、又は弁の操作のために操作床を設置する空間の有無の評価

これら多種にわたる検討業務を行なうに当たっては、まずその区域での他の機器や建築物の配置状況を把握することが必要である。このための一手段として、発電所内に存在する小物品を除くすべての機器、配管、ダクト、トレイ及び建築物などの外形を平面上に表わした複合図面（コンポジット図と称する）がある。このコンポジット図は、前述の各種の検討業務を行なうのに非常に有効なものであり、各方面で用い

られているが2次元平面に3次元の多種多様な情報を盛り込む必要があるため、多くの場合ふくそうしたものとなり、このため次に述べるような不利な点を持っている。

- (1) 2次元のコンポジット図を見て実際の3次元像を把握するには、相当の習熟を要する。
- (2) 多くの関連部門より集まった各種の情報を盛り込んだコンポジット図を常にメンテナンスし、最新のものにしておくには多くのマンパワーを要する。
- (3) 2次元の紙面内に描く関係上判読限界があり、反映できる情報量には制限がある。
- (4) 関連設計担当部門の集団思考が十分に行なえない。

このため、これらのコンポジット図が2次元であるための欠点を補うための手段として、縮小プラスチックモデルを用いて上述した種々の検討業務を行なうモデルエンジニアリングの手法がある。このモデルエンジニアリングは、国内外を通じ船舶の船室内艙装設計や化学プラントのプロセス配管のレイアウト計画に広く用いられている。原子力発電所のモデルエンジニアリングは、特にアメリカで多く用いられており、Three Miles Island No.2, Forked River No.1, SKAGIT及びWashington Public Power Supplyなどの例がある。我が国では従来本格的に用いた例はなかったが、本稿で紹介するように、今回日本原子力発電株式会社東海第二発電所に適用したので、以下にその内容を紹介し、更に、モデルエンジニアリングの得失に関する検討結果についても触れる。

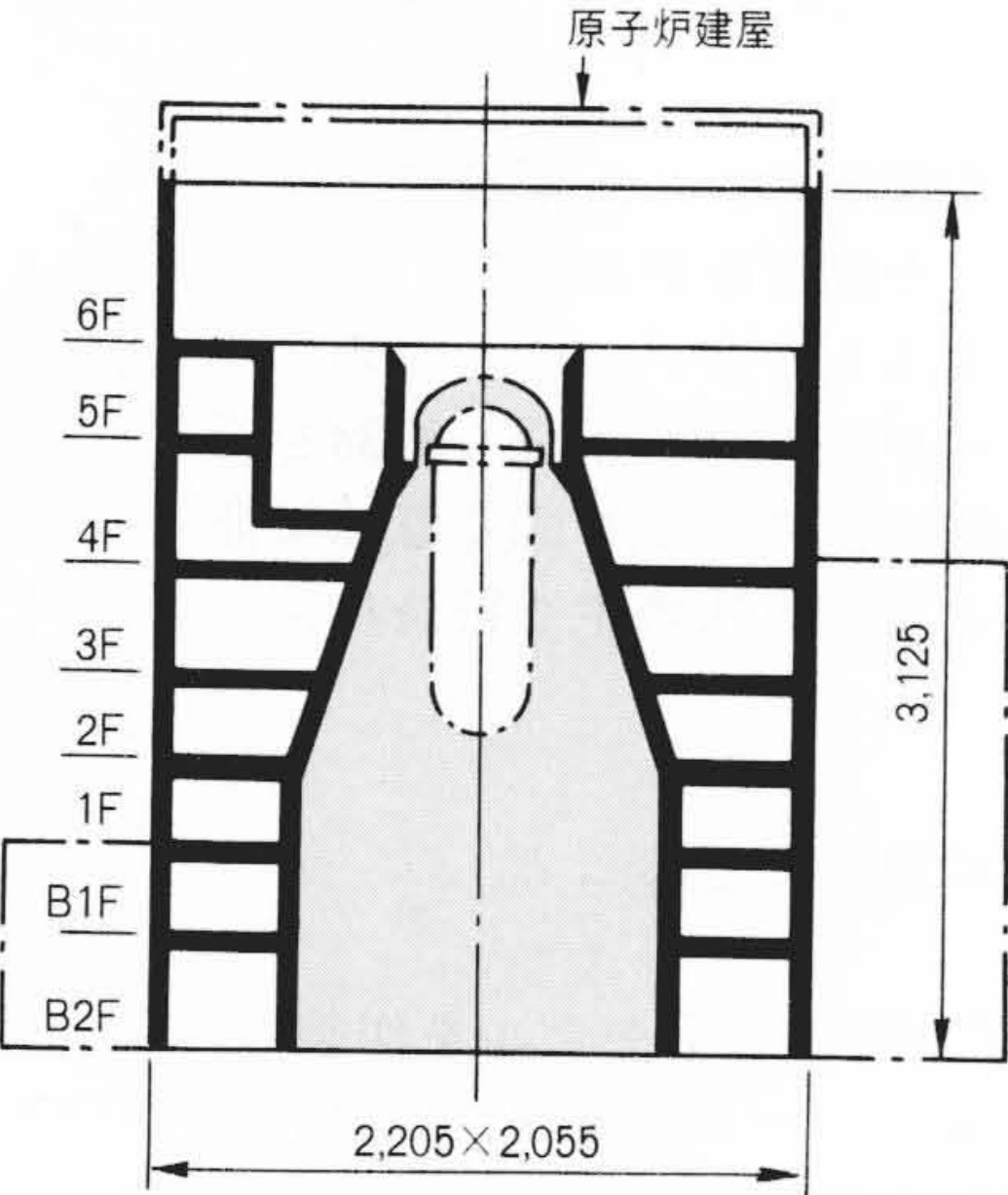
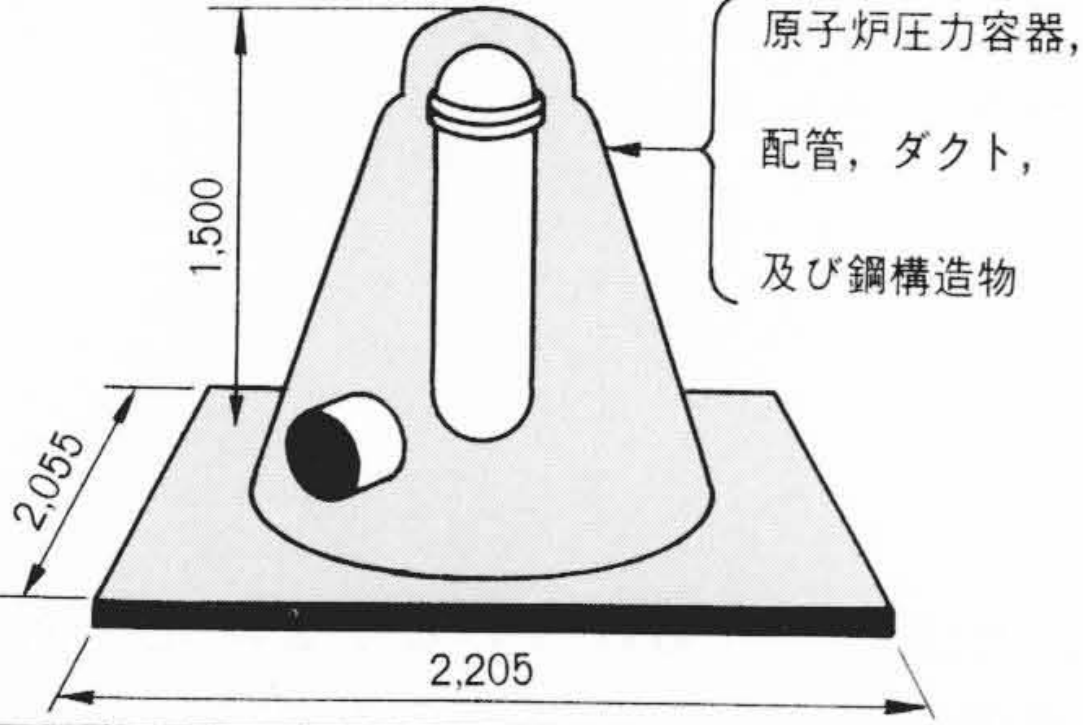
2 東海第二発電所についてのモデルエンジニアリング

2.1 概要

東海第二発電所は出力1,100MWeの沸騰水型原子力発電所

* 日本原子力発電株式会社東海建設所機械課 ** 日立製作所日立工場

表1 モデルの仕様 日本原子力発電株式会社東海第二発電所原子炉建屋の1/20 プラスチックモデル仕様を示す。

項 目	構 造	備 考
1.原 子 炉 建 屋 (地上1～6階，地下1～2階)		(1) 各階ごとに分割分解可能 (2) 各階ごとの分割は4分割 (3) 配管は取付け，取外し可能
2.原子炉格納容器内部		(1) 原子炉格納容器外殻は分割構造 (2) 垂直方向に3分割，水平方向には2分割

注：1.寸法 表中図参照 2.精度 ±1.5mm 3.縮尺 1/20
4.銘板 配管は系統名，ラインNo.，エレベーション，機器は名称，エレベーションを表示すると同時に各々色別も行った。

であり，原子炉建屋の回りに廃棄物処理建屋を配した複合建屋で，原子炉格納容器はMARK-II型である。基本設計は，GENERAL ELECTRIC社及びEBASCO SERVICES社が行なっている。今回のモデルエンジニアリングは，原子炉建屋を対象とし，EBASCO社の計画図を基に行なった。

2.2 モデル仕様

モデルの仕様を表1に，その写真を図1～3に示す。

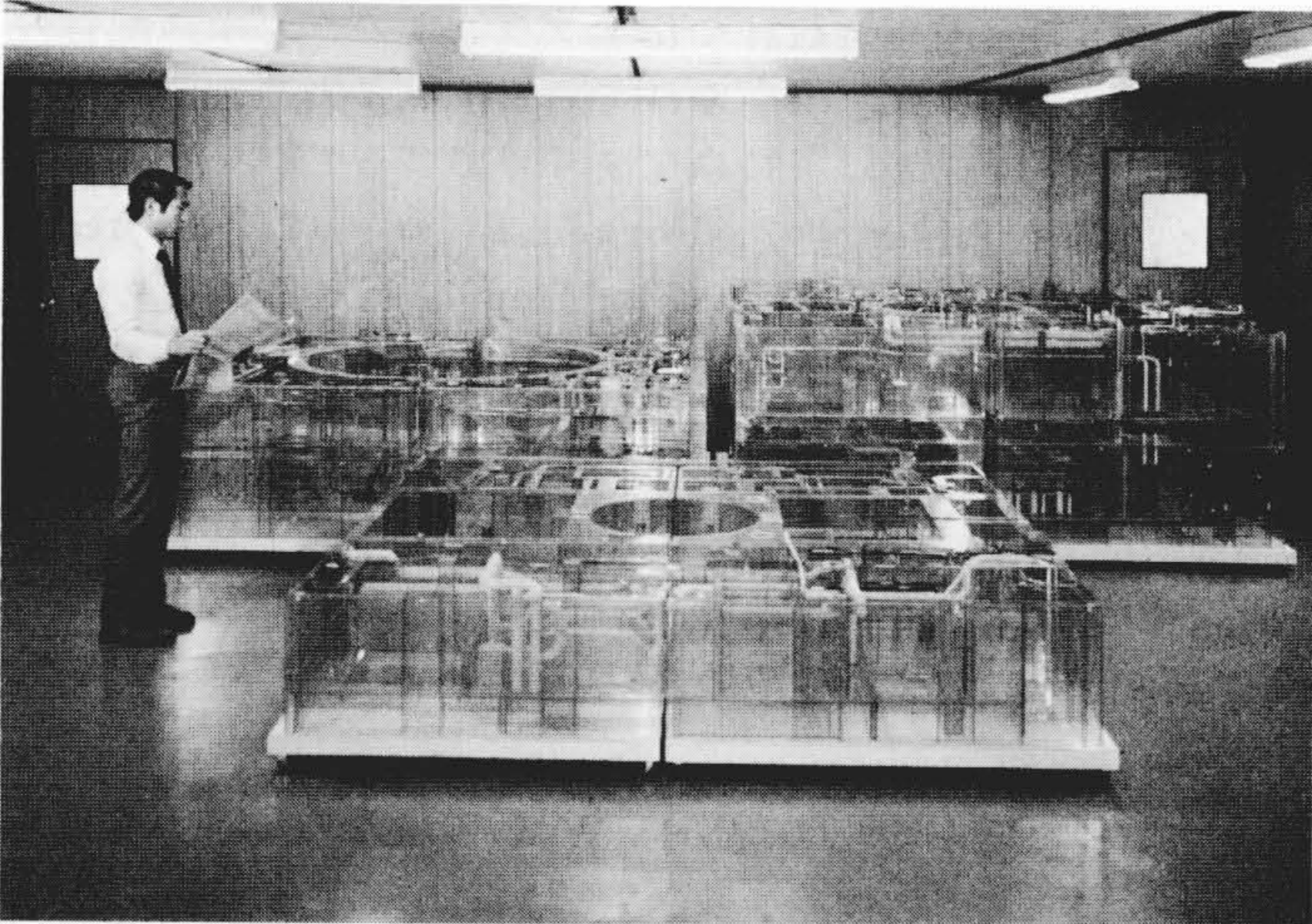


図1 原子炉建屋モデル(1) 原子炉建屋モデルを各床ごとに分解した状態を示す。



図2 原子炉建屋モデル(2) 原子炉建屋地下1階の廃棄物処理建屋との取合部付近を示す。

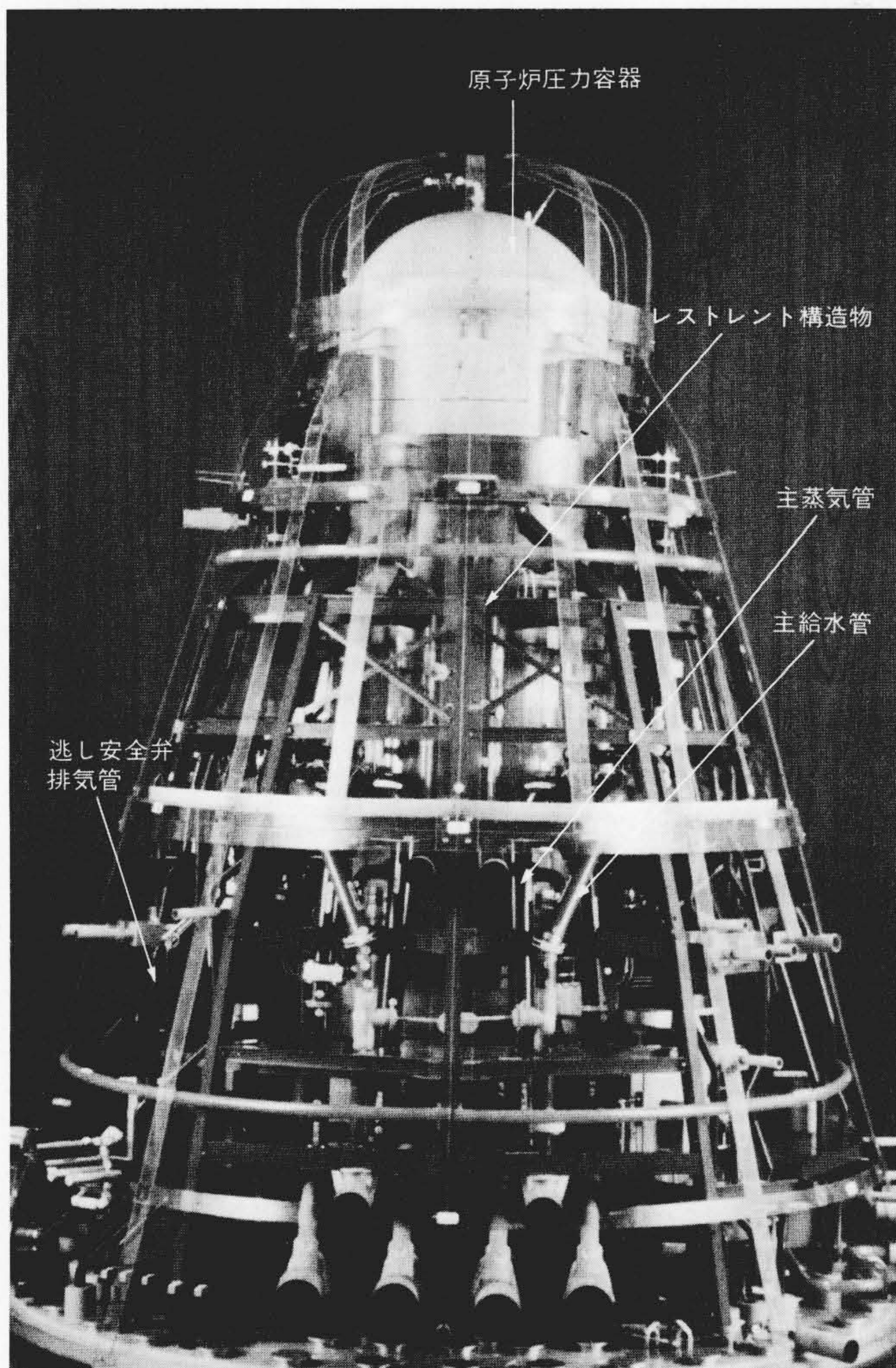


図3 原子炉格納容器内モデル タービン建屋側から見た原子炉格納容器内モデルを示す。

2.3 モデルエンジニアリングの内容

重要検討項目として次を選択した。

- (1) 配管、ダクト、トレー、機器、建屋などの相互干渉のチェックと対策案作成
- (2) 供用期間中検査の作業性の検討
- (3) モデルによる配管、ダクトのルート決定
- (4) 配管、機器の搬入方法及び据付工法の検討

次にそれぞれの項目について詳述する。

2.3.1 相互干渉のチェックと対策案作成

次に述べる手順により行なった。

- (1) 計画図に基づき配管、ダクト、トレー、機器及び構造物などのモデル部品を製作し、所定の配置に取り付ける。
- (2) 干渉がある場合は、モデル部品を所定の位置に取り付ける時点で発見される。
- (3) 干渉が発見されると干渉レポートを作成し、関連設計部門で調整後、日本原子力発電株式会社の承認を得て対策を決定の上、配置変更、径路変更などの設計変更を行ない実機に反映する。

干渉レポートはモデル内に付けた干渉番号を記入し、3次元空間の視覚的把握を容易にする工夫を行なった。

図4にこれらの手順のフローチャートを示す。

2.3.2 供用期間中検査の作業性の検討

重要な配管の溶接部については、供用期間中検査を行なう

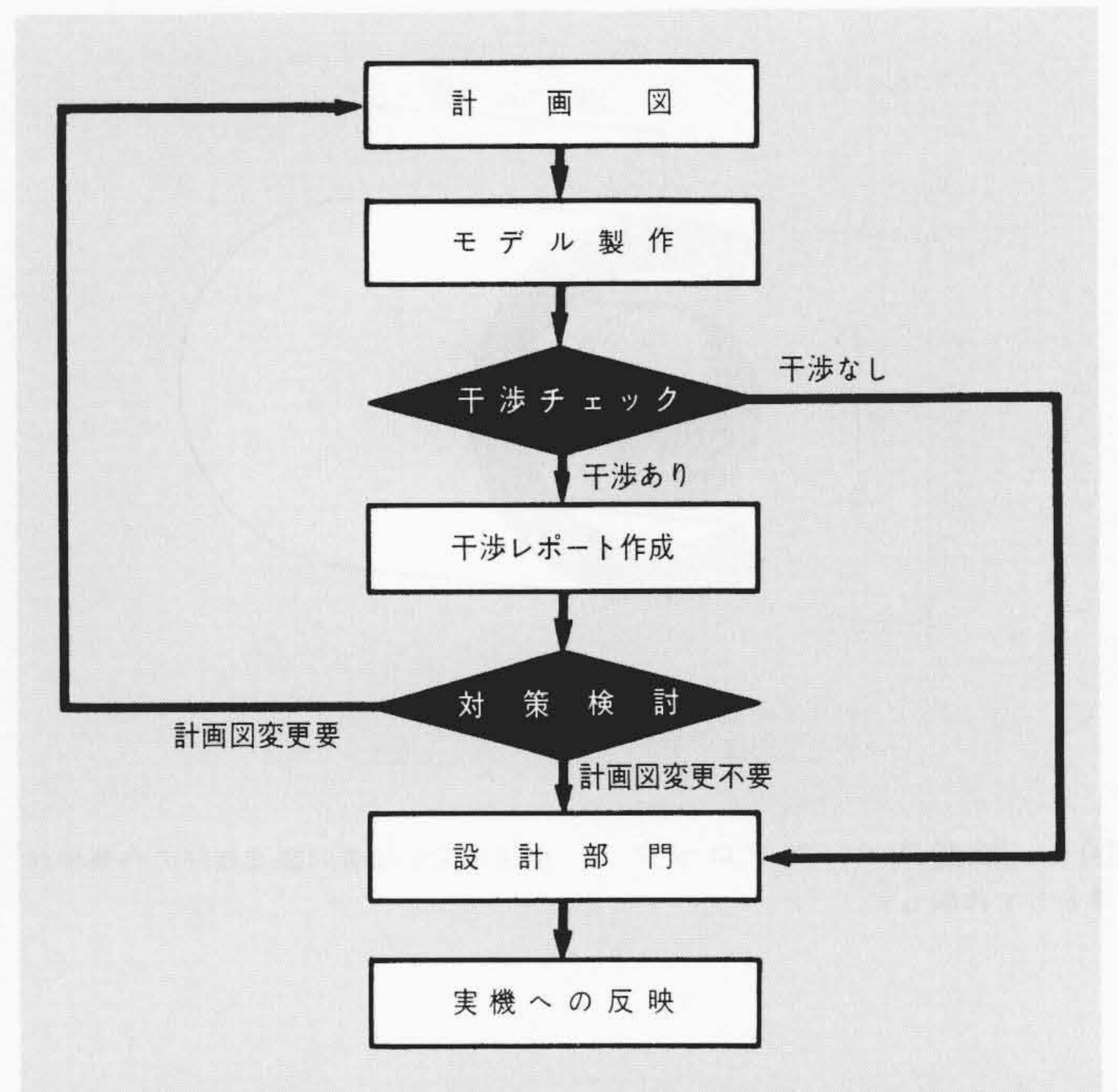


図4 干渉問題解決手順 モデルによる干渉問題発見、及び対策案作成並びに処理のフローチャートを示す。

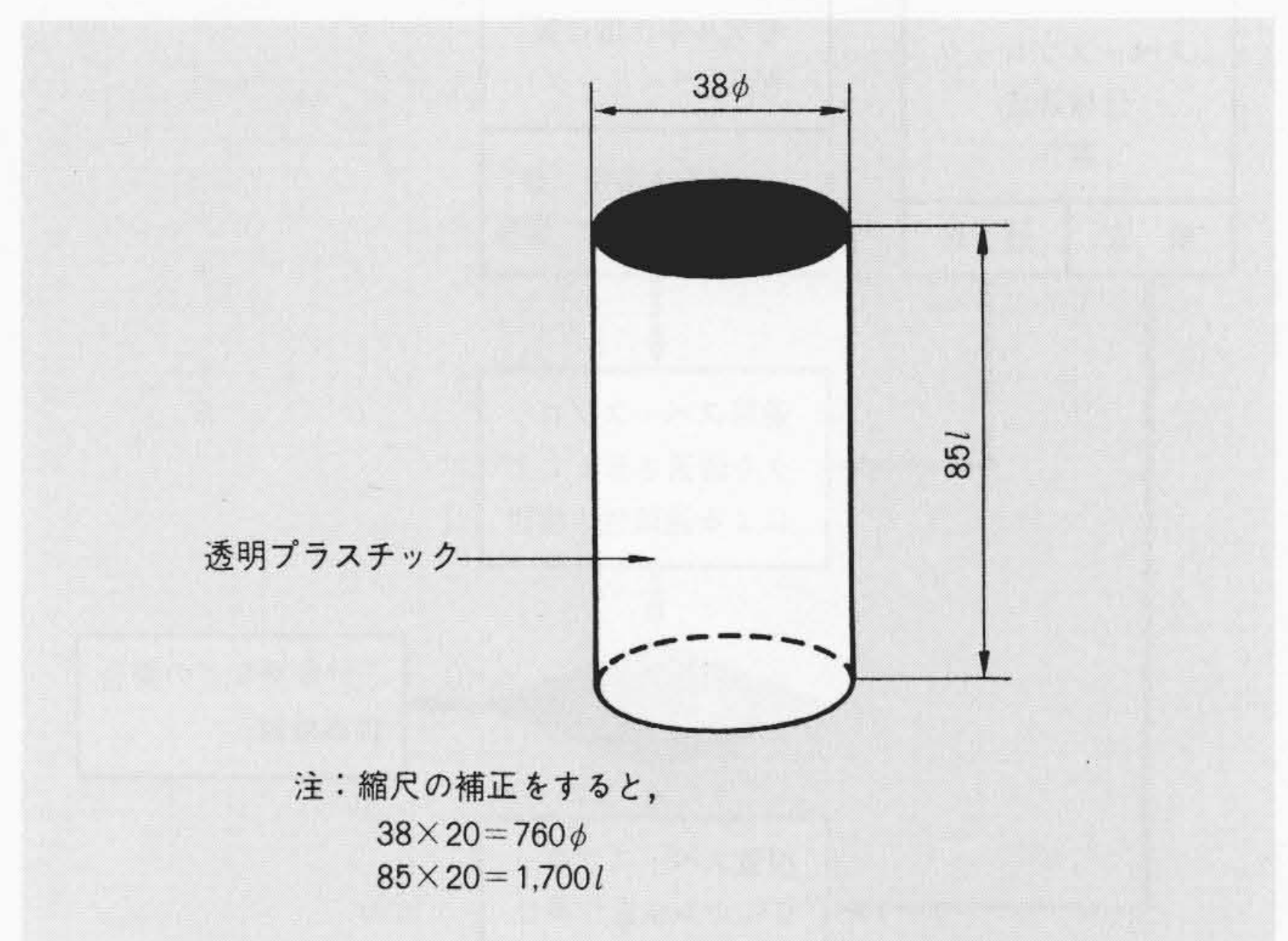


図5 通路スペースブロック 供用期間中検査対象部への通路の検討用として作製した。

ことが義務づけられているが、この作業性の検討を行なうことは、配管設計業務のうちで重要な項目の一つである。モデルエンジニアリングはこの検討に非常に有効な手段であり、次に述べる要領で作業性を検討した。

(1) 通路スペースブロック

検査対象箇所に至るまでの作業員及び検査機器の通過可能スペース検討用として、図5に示す大きさのスペースブロックを作製した。

(2) 検査スペースブロック

検査対象配管溶接部の超音波探傷試験を実施するためのスペース検討用として、図6に示すスペースブロックを作製した。

(3) 上記の(1)及び(2)のスペースブロックをモデル内に設置し、図7に示す手順で作業スペースの検討を行なった。図8は、このチェックしている状況を示すものである。

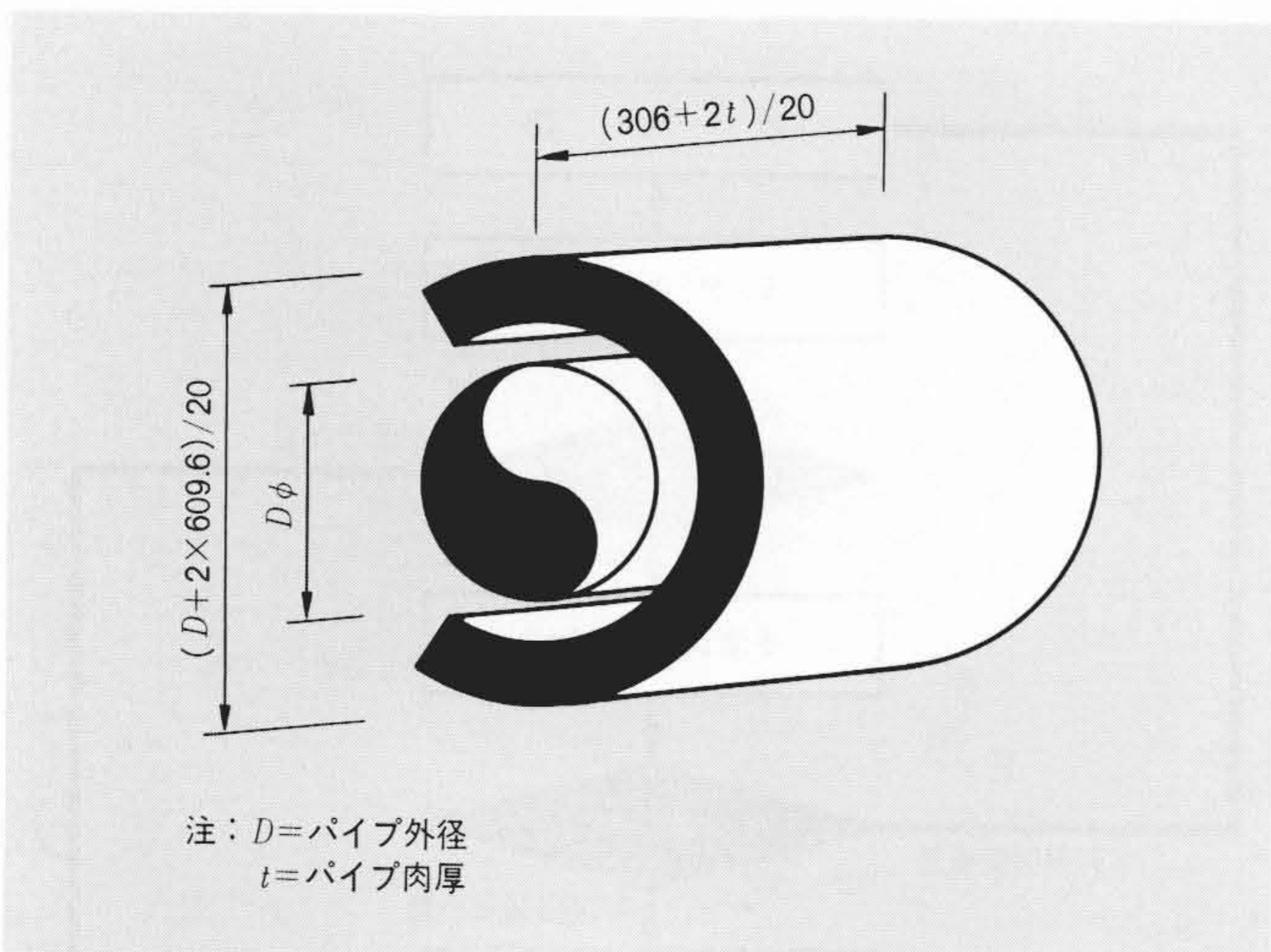


図6 検査スペースブロック 供用期間中検査対象溶接部の作業検討用として作製した。



図8 供用期間中検査作業スペースの検討図 検査スペースブロックを用いて、主給水系配管のスペースの検討を行なっている状態を示す。

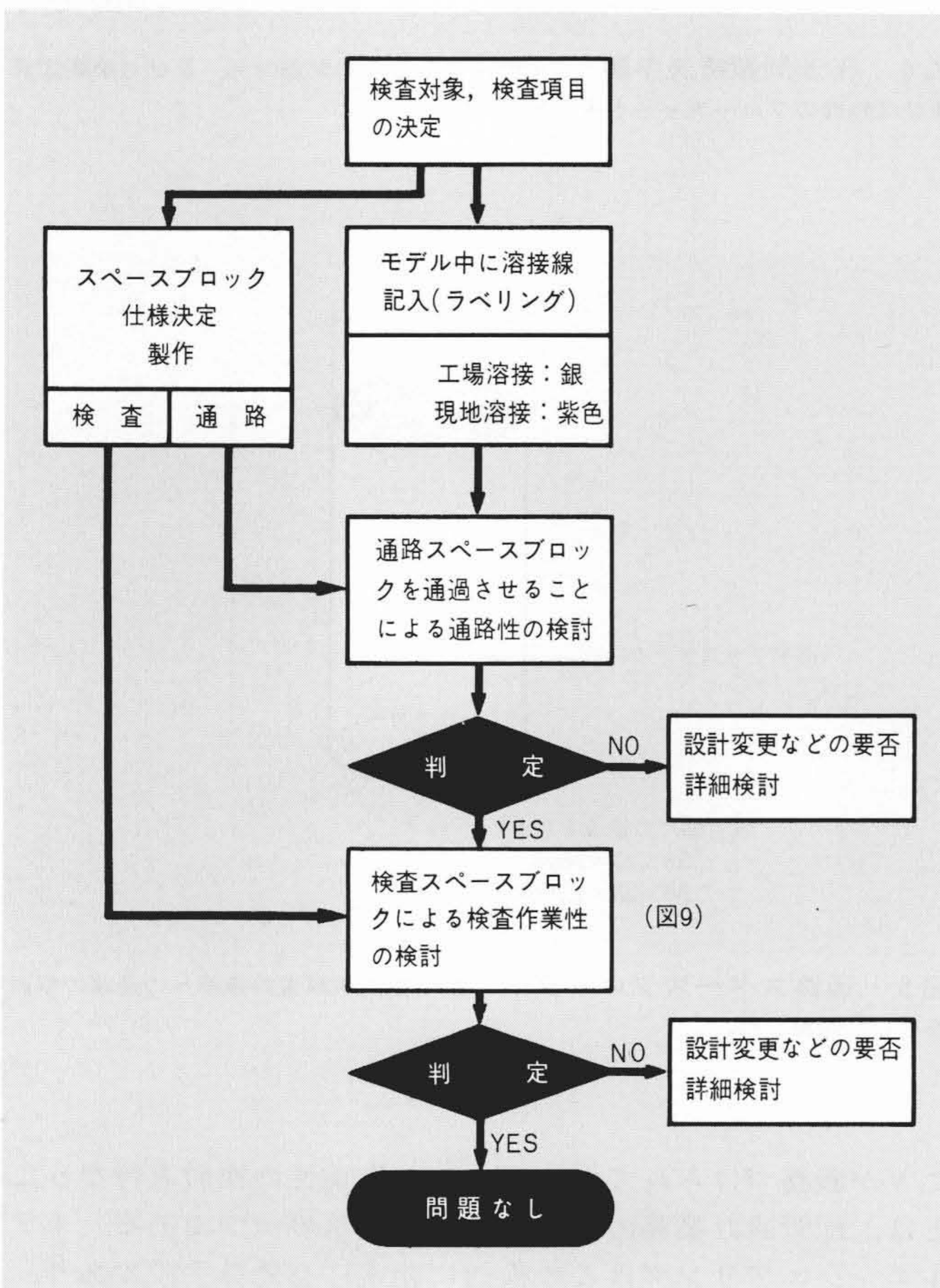


図7 供用期間中検査作業スペース検討手順 供用期間中検査作業スペースの検討をモデルを使用して行なったときの手順を示す。

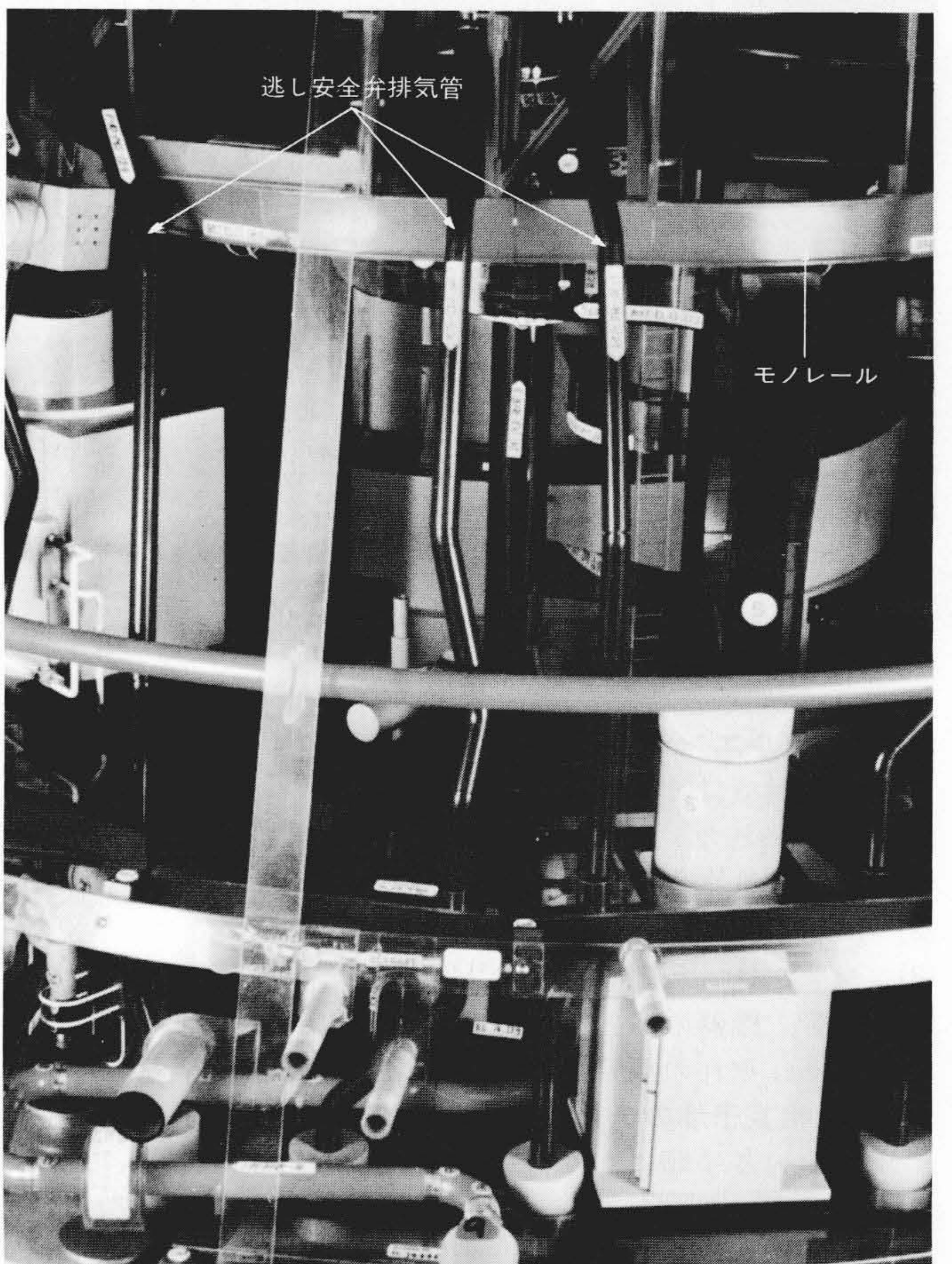


図9 逃し安全弁排気管 原子炉格納容器内の主蒸気逃し安全弁排気管であり、3次元の複雑な径路となっている。

2.3.3 モデルによる配管、ダクトの径路決定

原子炉格納容器内の逃し安全弁排気管の径路を全面的に見直す必要を生じたため、原子炉格納容器内モデルを利用して、基点及び終点、並びに他の機器、配管、構造物の配置が与えられた条件の下で、排気管及びダクトの径路計画を行なった。このモデルを図9に示す。この計画に基づいて配管を製作し据え付けた。このことを通じて、モデルエンジニアリングが

計画済み配管の干渉による局部的変更だけでなく、新しい径路を計画する場合にも非常に有効であることが確認された。

2.3.4 配管、機器の搬入及び据付の検討

本モデルは、配管、機器の搬入・据付スペースの検討用にも用いられ、効果を発揮した。検討を行なったものの例を次に述べる。

(1) 大口径バルブの搬入据付方法の検討

- (2) 主給水管フローメータ及び再循環ポンプ・モータの搬入・据付の検討
- (3) 仕様変更などのため、工場製作が遅れ後から搬入据付することになった配管などの搬入径路及び据付スペースの検討

2.4 モデルエンジニアリングの成果

- モデルエンジニアリングによって得られた代表的な成果について次に簡単にまとめて述べる。
- (1) 設計段階で、現地工事時期に発生したと思われる干渉問題を事前に発見し、現地改造及びそれによって生ずると予想される工程遅延を未然に防いだ（従来、コンポジット図で干渉チェックを行っていたが、モデルエンジニアリングの採用によりチェックの精度向上に効果があった）。
 - (2) 原子炉格納容器内の逃し安全弁排気管及び換気空調用のダクトの径路決定を実施した。
 - (3) 配管溶接線の供用期間中検査の作業性の検討を約 650 点の溶接箇所に対して行ない、その結果、広範囲の領域に設置される構造物と配管との接近性を検討し、スペース的に問題ある箇所については対策を行なった。このことから、今後モデルを使用することにより、干渉の検討だけでなく、配管径路及び機器・構造物などの配置につき、配管の供用期間中検査の作業スペースを考慮した設計を同時に行なうことができる確信を得た。

3 モデルエンジニアリングの特徴と適用の条件

上述したように、東海第二発電所を対象として計画図を元にしてモデル製作上種々の検討を行なったが、その結果、モデルエンジニアリングの有効性及び欠点、並びにモデルエンジニアリングを実施する場合に満たされるべき条件が次に述べるように得られた。

3.1 モデルエンジニアリングの有効性

3.1.1 最適径路計画と干渉チェック

コンポジット図をベースとしたエンジニアリングと比較した場合のモデルエンジニアリングの最大の長所は、配管類の最適径路計画が実施しやすく、また干渉チェック漏れがほとんどないことである。干渉チェックを例にとると、モデル製作中に干渉チェック業務も同時に実施でき、干渉対策の立案もモデル製作の中で決定できる。両者の手順の比較を図10に示す。

3.1.2 供用期間中検査の検討

配管溶接箇所（原子炉格納容器内だけでも約 600箇所存在する）について、供用期間中検査の作業スペースの確保が必要で、周辺に機器、配管、ダクト、トレイ、サポート、構造物などが存在するため、その検討にはモデルが極めて有効である。

3.1.3 その他の応用

- その他の応用としては次が有効である。
- (1) 配管、機器の搬入方法及び据付手順の検討
 - (2) サポート計画
 - (3) 小口径配管設計
 - (4) 弁操作床設計
 - (5) 材料発注管理（配管モデルの材料集計を行ない、実物配管の物量を把握する。）

3.2 モデルエンジニアリングの問題点

- モデルエンジニアリングは上記のような利点を持っているが、反面次のような問題点を持っている。
- (1) モデルは運搬に不便である。
 - (2) 保管をするのに大きな場所を要する。
 - (3) 複写がとれない。

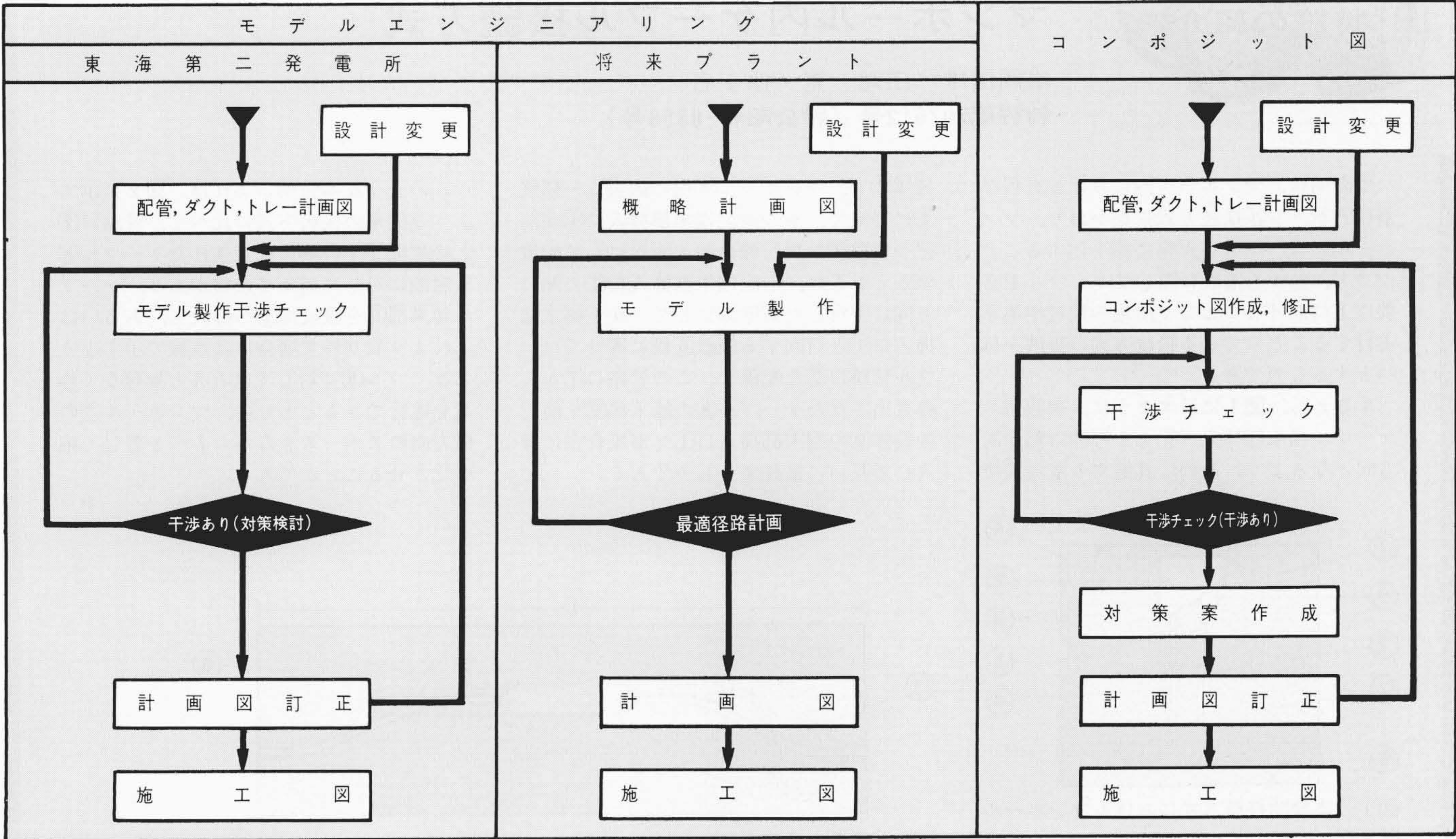


図10 設計作業手順の比較 モデルによる方法とコンポジット図による方法との比較を示す。

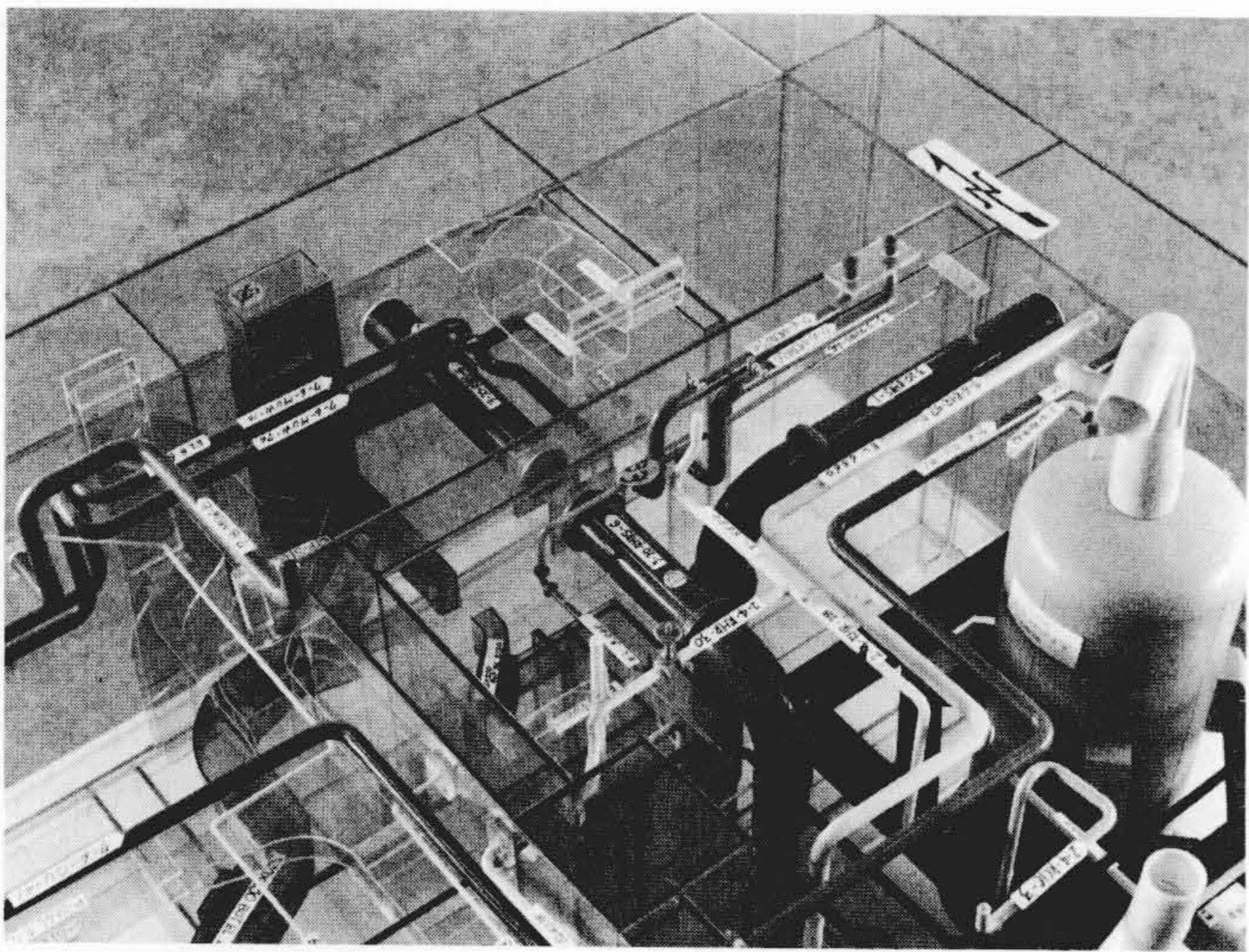


図11 モデルの写真化 モデルを写真撮影して原図としたものである。

上記のような問題点を補う一手法として、モデルを写真に撮り、これを原図として利用する方法があるが、鮮明度及び正確度の点では現在のところ図面には及ばない。図11はその例を示したものである。

3.3 モデルエンジニアリングの適用条件

(1) モデルを利用する場合、従来のコンジット図に基づいたエンジニアリング体制の中にどのようにモデルエンジニアリング組織を組み込むかを十分に検討し、仕事の流れを有効なものとする必要がある。

(2) モデル製作を予定の工程どおりに進めるには、モデル製作仕様が明確にされ、かつモデル製作を実施するのに不可欠な関連資料が迅速に伝達されなければならない。そのためには、必ずしもプラント全体をモデル製作することではなく、配管の特に密集した複雑な場所、保守点検上重要な所など、モデルエンジニアリングを行なう部分を的確に選択することが良い方法である。それによって、経済的かつ有効なモデルエンジニアリングが期待できる。

(3) 設計段階でのモデルの設置場所としては、設計部門としモデルエンジニアリングを推進すべきであるが、現地工事が進捗し搬入・据付手順の検討に対するウェイトが大きくなってくると、現地でのモデル利用の要求が強くなっていく。この場合、モデルを設計部門に置くか建設現場に置くかは、各々の利点を十分検討した上で決定する必要がある。

4 結 言

モデルエンジニアリングを原子力発電プラントに採用することにより、次に述べるような特徴を発揮できる確信を得た。

(1) 原子力プラント全体で、配管、ダクト、トレイなどの最適経路計画が可能であり、性能の向上・工期の短縮・経済性の向上が期待できる。

(2) 集団思考により、関連設計部門間で統一された基本構想を元に、プラントエンジニアリングを行なうことが可能である。

(3) 設計上のチェック漏れなどの思わぬ単純ミスが防げる。

終わりに、今後の問題としてモデル中に組み込まれた情報を、関連部門に対し、正確かつ簡単に伝達する方法の確立に力を注ぐ必要があるものと考えている。



マンホール内ケーブル接続方式

増岡信雄・庄司 寛・他1名
特許第797612号（特公昭47-8356号）

本発明は、マンホール内における有利な着脱式ケーブル接続方式にかかわり、マンホールのスペースを大幅に縮小化することができ、しかも着脱に際してケーブルを必要以上に曲げることなく所定の接続作業を遂行することのできる接続方式の提供を目的とするものである。

すなわち、図1に示すように、複数のケーブル端末部挿入口①をその開口部が同方向となるように並列に具備する着脱式接

続体②を、マンホール③内の適当な側壁④に寄せて、かつ前記端末部挿入口①が前記側壁④の反対側に向くようにして配置するとともに、前記端末部挿入口①の開口方向に平行した側壁⑤にしてしかも端末部挿入口①と対向する側壁⑥側に寄せてケーブル管路口⑦を配置し、この管路口⑦から導き出されたケーブル⑧の端末部⑨を前記接続体②の端末部挿入口①へ着脱自在に挿入して互いに接続するものである。

このような本発明によれば、図2に示すような従来の接続方式に比べて、管路口⑦と接続体②との間に配設されたケーブル⑧は屈曲に対して極めて余裕があり、ケーブル端末部⑨を接続体②へ挿入し、あるいはこれより取り外す場合には点線で示すようにケーブル⑧に対してほとんど無理なく作業を遂行できるとともに、マンホール③の横方向のスペースをLからlへと著しく縮小化させることができる。

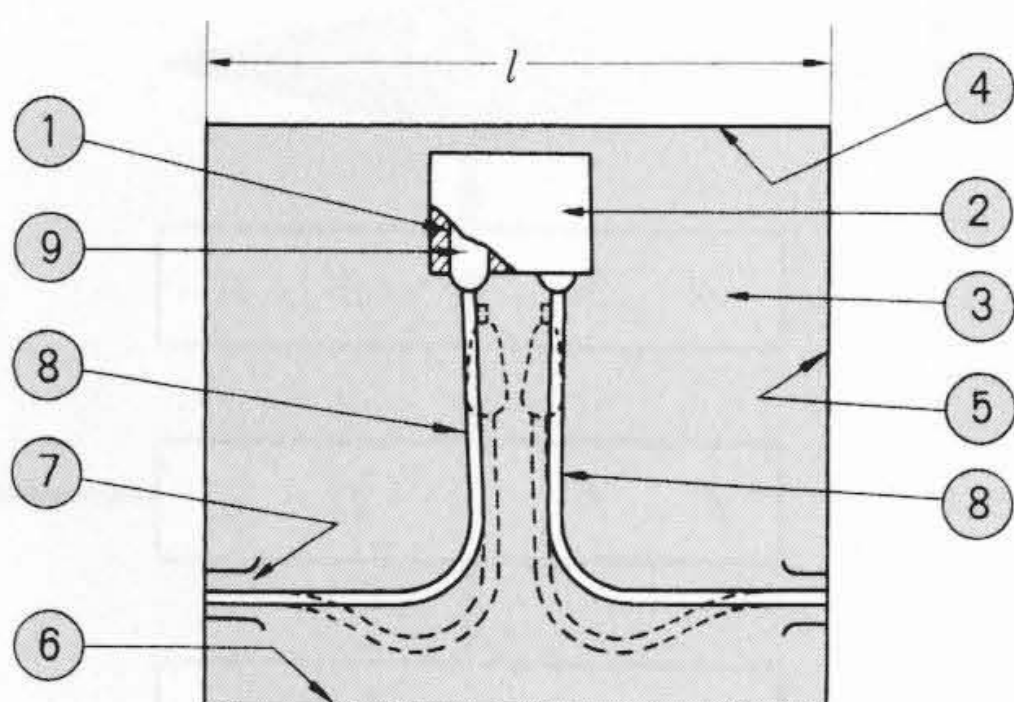


図1 本発明接続方式におけるマンホール断面図

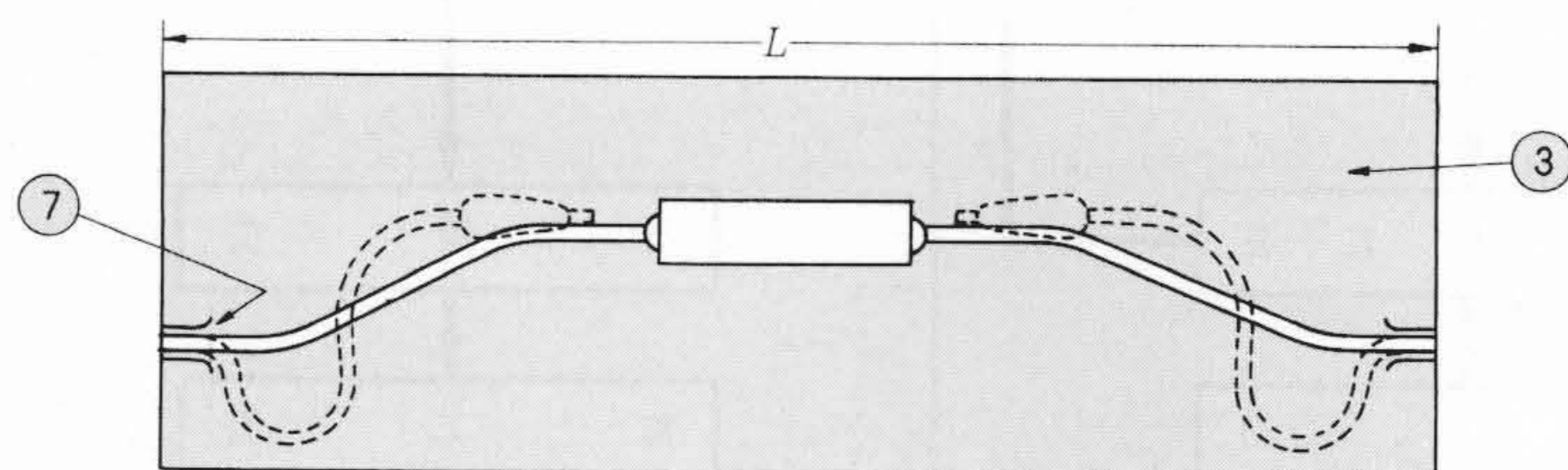


図2 従来の接続方式におけるマンホール断面図