

火力プラント配管のモデルエンジニアリングによる最適設計

Optimizing Design by Model Engineering Method for Thermal Power Station Piping Layout

梅村和男* Kazuo Umemura

小林和夫* Kazuo Kobayashi

火力発電所では、建屋内に多くの機器、配管及びケーブルトレイなどが配列されており、これらはすべて発電所の建設設計を担当する各関連部署相互の検討を受け、顧客の承認を得たのち製作、据付けされるが、機能、据付け、操作性などの要素について多角的な調整、検討を要し、かつ高い信頼性が要求される。一方、取り扱う情報量が非常に多く、図面類だけの設計では上記を完全に満足させることは困難である。特に近年、プラントの自動化、コンパクト化など、顧客ニーズの多様化のため、機器配管レイアウトが複雑化してきており、それに対応して品質の向上、工期短縮など顧客のニーズに合ったプラント設計を行なうため、今回数発電所に対して、モデルエンジニアリング設計法を導入し大きな効果を取ることができたので、実例を主体に、その内容について紹介する。

1 緒言

火力発電プラント建設設計は、配管経路計画、弁操作計画に始まり、機器搬出入計画及び配管付帯物、電気品などの配管設計への反映、更には据付け工法、工程管理などを含む広範囲に及ぶ業務である。また、最近では科学技術の発達により、装置類の自動化及び多様化とあいまって、プラントシステムがますます複雑化してきている。

一方、発電所建設用地の有効活用のため、プラントのコンパクト化が重要な課題である。これらの諸問題を解決するためには、従来の平面的複雑な配置配管図象では設計の限界にきていることも合わせて、図上設計の代わりに、最もプラント建設設計に適したモデルエンジニアリングによるプラント設計手法の開発を行ない、大きな効果を得ることができたので以下に報告する。

2 日立モデルエンジニアリング法

プラスチックによる火力発電所のモデル作製は、次に述べるように種々の目的のために従来も行なわれてきた。すなわち、

(1) 展示用モデル

展示を目的とするモデルで、発電所見学者へのPR用など陳列を主な目的として作られる。

(2) 配置計画用モデル

全体のレイアウト構成、又は機器などの配置を決めるために使用される。

(3) 配管計画用モデル

配置が決まった機器に対して、配管の構成及び計画を主な目的として使用される。

(4) チェック用モデル

図面が正しく、干渉などの問題がないか、図面が完成したあとモデルを作ってチェックすることを目的とする。

しかし、以上のモデルは、機器配置図、配管レイアウト図など関連図面がすべて出来上がってから、その図面に基づいてモデルを作製し、それぞれの目的に従って使用されるもので

ある。日立モデルエンジニアリングは、従来のモデルとは全く異なる思想で開発されたもので、従来の単一目的モデルでなく、プラント設計者が、プラント全体計画から据付け、運転教育までを考えてモデルエンジニアリングした実物縮小モデルであり、(1)計画・設計・製作用、(2)現地据付け用、(3)運転員教育用にと、それぞれの使用目的によって使い分けができる総合エンジニアリングモデルである。その特長を次に述べる。

2.1 総合モデルエンジニアリングの特長

(1) 経験あるプラントのレイアウトエンジニアが機器のレイアウトとフロシート及びエンジニアリングデータを基本として、機器配管、弁、サポート、ケーブルトレイ、計器、操作台などの運転、分解、点検の動作を考えながら作製するため、完成されたモデルは実物プラントと同一であるか、それ以上の内容をもつものとなる。

(2) ブロックデザインによるモジュール化により、ブロックごとの検討が容易であり、特に建設現場での利用に極めて有効となる。

(3) モデルエンジニアリングは、プラントの計画、設計、及び建設に携わるすべての部門を動員する性質をもつため、問題の発見、解決が早期に速やかに行なわれる。

(4) 建設現場でのエンジニアリングモデルは、建設を担当するスタッフのプラントに対する理解に大きな影響力があり、工程管理、据付け手順に大きな効果がある。

(5) 実物の縮小化モデルのため、顧客との事前検討が容易でニーズに合ったプラントができる。

(6) 基本計画から実施設計までの設計時間を短縮することにより、早期に土木、建築設計の着手が可能である。

(7) 運転及び保守点検などの教育、トレーニング教材としても、十分な効果が発揮できる。

(8) 日常の保守、点検に必要な弁、計器、機器のアドレスとその最適アクセスの表現も、モデルエンジニアリングは容易

* 日立製作所日立工場

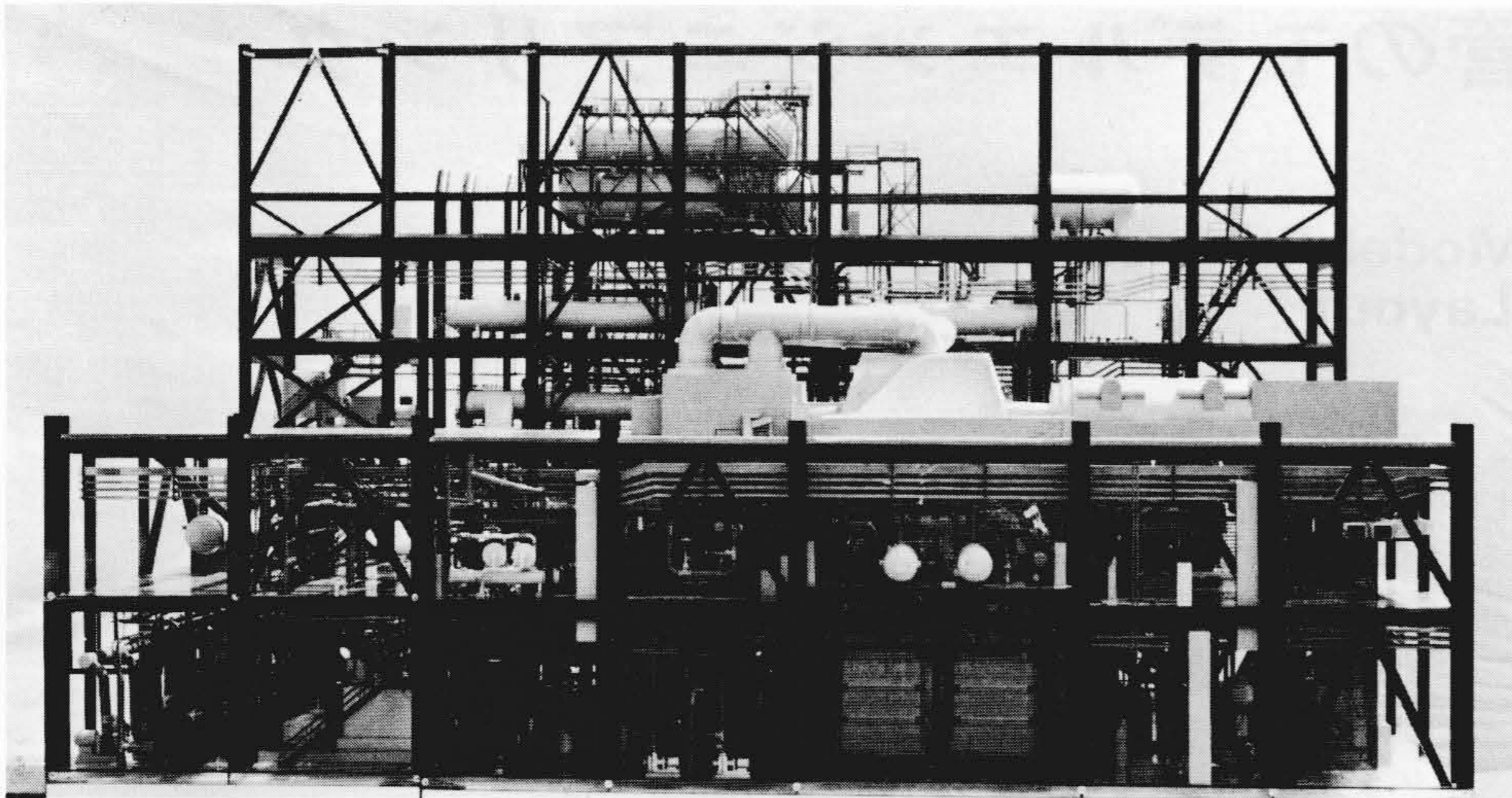


図1 総合エンジニアリングモデルの全景 総合調整により配管、電気品ケーブルトレイなどが整列化しており、十分調整されたことが分かる。

に可能とする。

(9) 消火設備、照明、空調、換気、通信設備などプラントユーティリティの効果的速やかな決定が、モデルに座標を指示することで簡単に行なえる。

以上の特長をもつ総合エンジニアリングモデルの全景を図1に示す。

3 モデルエンジニアリングによる総合計画と最適設計

前述したように、火力発電プラントの建設設計では、配置配管設計、弁操作計画、機器搬入搬出計画及び電気品など膨大な量の計画設計を行ない、それらの機能、保守点検、据付けなどを考慮した相互調整を行ない、操作性、信頼性を十分満足する合理的プラントの計画設計を行なう必要がある。

日立製作所では、これらの要求を満足する合理的設計手法として、平面的複雑な図象に代わり、三次元的手法としての立体モデルを主体とした、総合モデルエンジニアリングを導入してきた。

3.1 モデルエンジニアリングのプロジェクト体制

前述したように火力プラントでの総合エンジニアリングモデルでは、プラントの計画、設計及び建設に携わるすべての

部門を動員する性質をもっており、図2に示すように、プラント設計者、配管設計者、電気設計者、計装設計者、据付け工事技術者などの専門エンジニアによる多角的同時検討ができるように、プラントごとに体制を組んでおり、専門分野に分かれている関連部門がモデルを通して、常に一体設計ができる体制となっている。

顧客立会の際も、各分野との関連性がモデルに反映されるため、同時に理解でき、調整が速やかに行なえるシステムとしている。

3.2 モデルエンジニアリングの設計手順

従来のモデルは、図面先行チェックモデルのため、計画図作成後、専門メーカーに製作を依頼したモデルで干渉チェックを行っていたのが実状であった。したがって、設計者の意図する内容がモデルに反映されないなど問題があった。

図3に示す手順では、モデルエンジニアリングが火力発電プラントのプラント配管設計業務の中心になっているが、これは設計者がプラントの特殊性などを直接モデルに組み込み、モデルで設計、検討を行なうエンジニアリングモデルを採用しているためである。

このエンジニアリングモデル方式は、配管基本構想計画を基にエリアモジュールに、(1)全体機器配置、(2)機器搬入の検討、(3)配管経路の設計を行ない、第一段階の相互調整及び検討を行なう。次いで、第2段階として、(4)ケーブルトレイ経路の検討、(5)サポートの総合調整、(6)現場制御盤の配置検討、(7)小口径配管の経路検討を行ない、最後に現地施工である消火配管、計装配管の経路及び弁の操作性を検討し、総合エンジニアリングモデルの組立てを行なうものである。

なお、この総合エンジニアリングモデルでは、顧客及び各専門分野の設計者の最終チェックを得て現地へ搬出し、工程管理及び据付けの工法に利用する手順となっている。

3.3 モデルエンジニアリングの最適設計

火力プラントの全体機器配置は、機器仕様及び配管系統仕様と並び火力発電設備の基本となるもので、モデルエンジニアリングに入る前に、十分検討の上で決定されるが、なおかつ、モデルエンジニアリングによって、より良い方向に改善される。以下、その実例を数例挙げ紹介する。

例(1) 発電所内の機器配置は既設プラント、又は類似プラントを参考に決められることが多い。

図4(a)は既設プラントと同配置にした場合を示し、同図(b)は操作性の改善を図り、機器を直列配置に移動した場合を示す。

このように平面的図法では、分かりにくい操作性などが簡

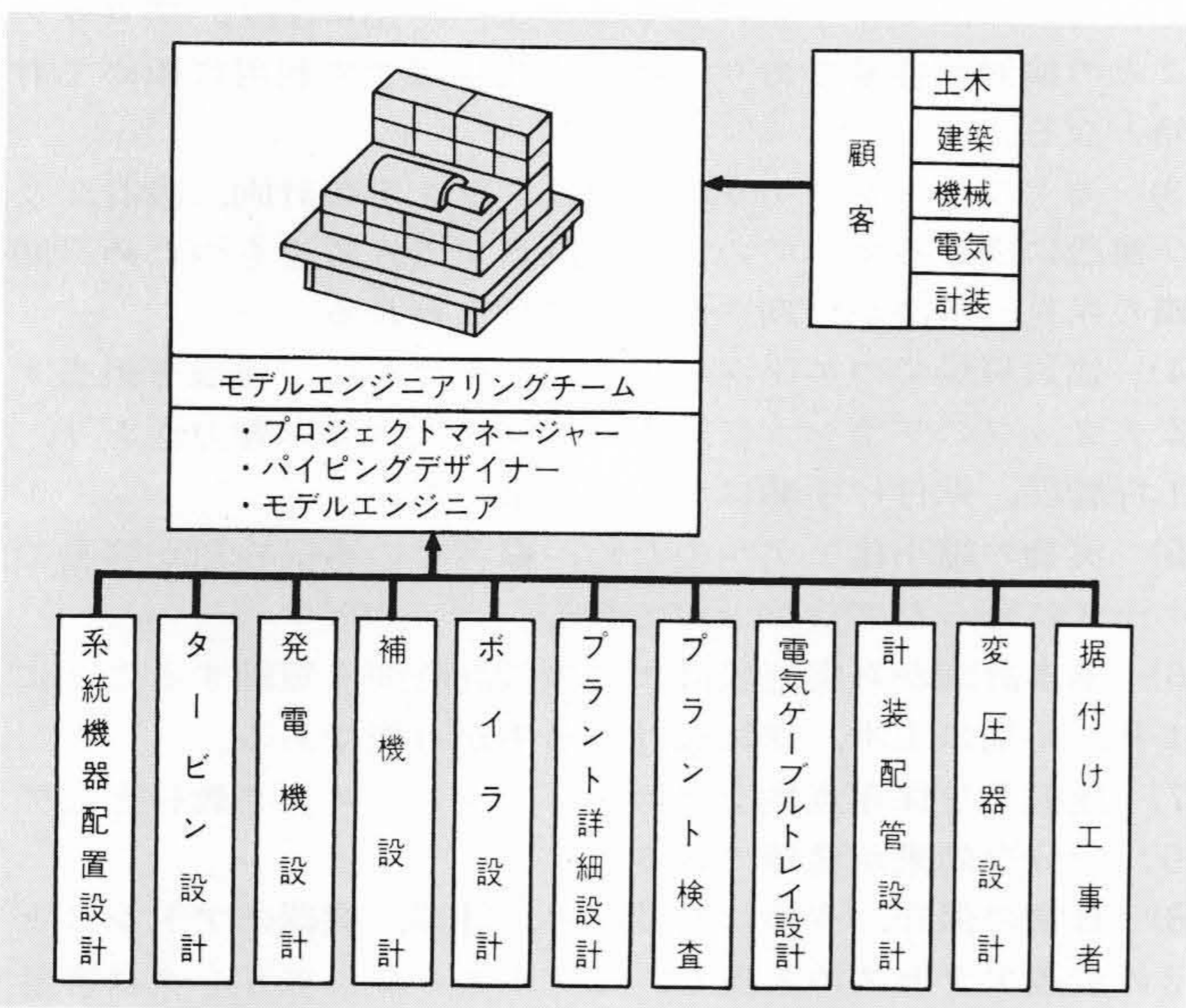


図2 モデルエンジニアリングのプロジェクト体制 モデルを中心とした関連部門の体制を示す。特に、現地据付け関係者がモデルに参加しているのが特長である。

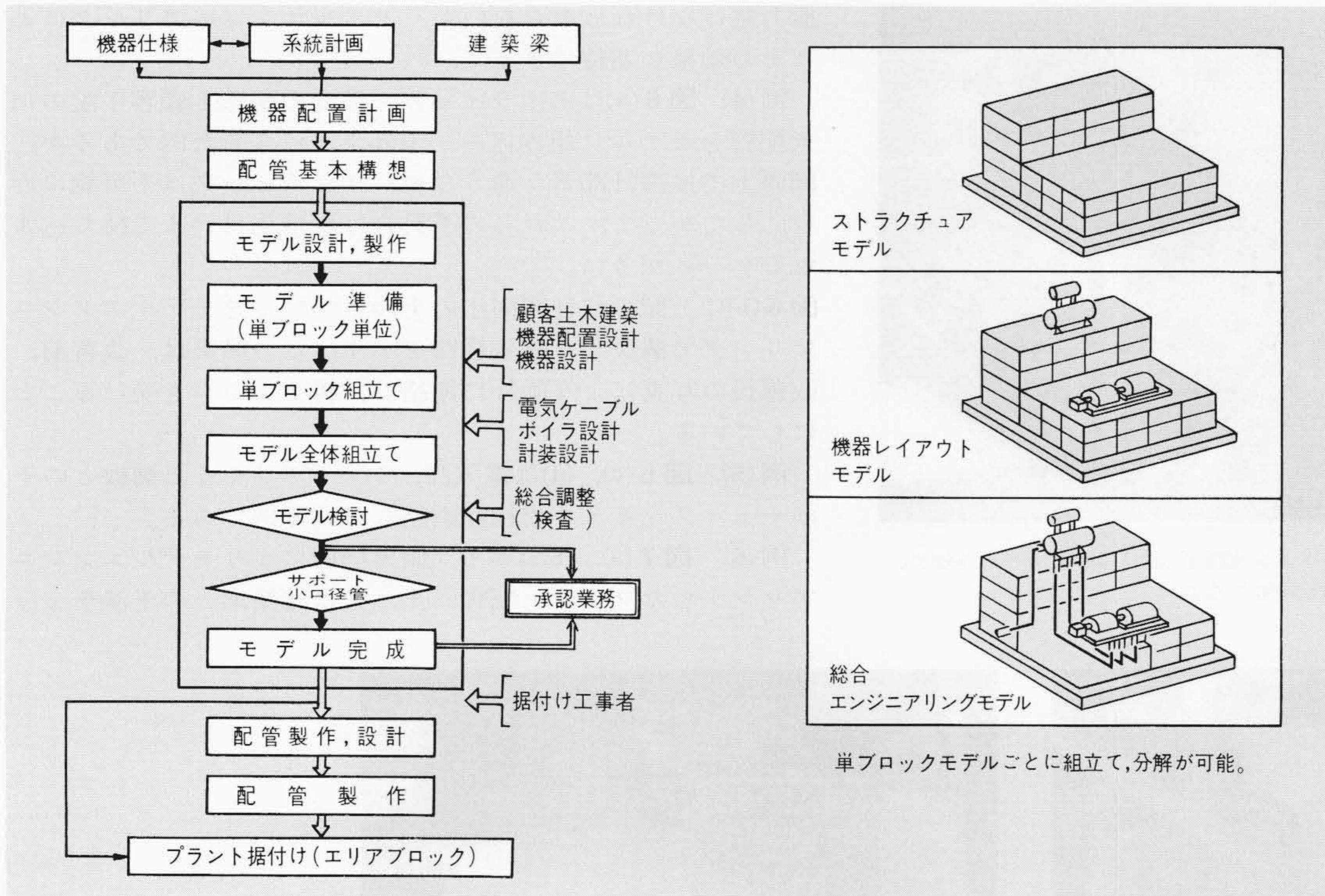


図3 モデルエンジニアリングの設計手順 モデルエンジニアリング工程に従って、各専門分野が参加する。

単にモデル利用で改善できる。

例(2) 新規プラントでは、スペースファクタ確保のため、各種機器を集合化した斬新な配置を要求されるが、前例のないプラントに対するモデルエンジニアリングは最大の効果を発揮する。

図4(c)は各種ポンプ類を集合化した斬新な配置例を示すが、図象による機器配置では表現されない機器回りの小弁などが想像以上に突き出し、パトロール、機器分解時に支障を来すおそれのあることがモデルでは確実に判断できる。

図4(d)は各種ポンプ類を集合化した上、更に、各ポンプの吐出口中心を一致させた配置であり、小弁などの突き出しも一様で、パトロール、分解時に迂回することがない、メン

テナンス重視の配置にすることができる。

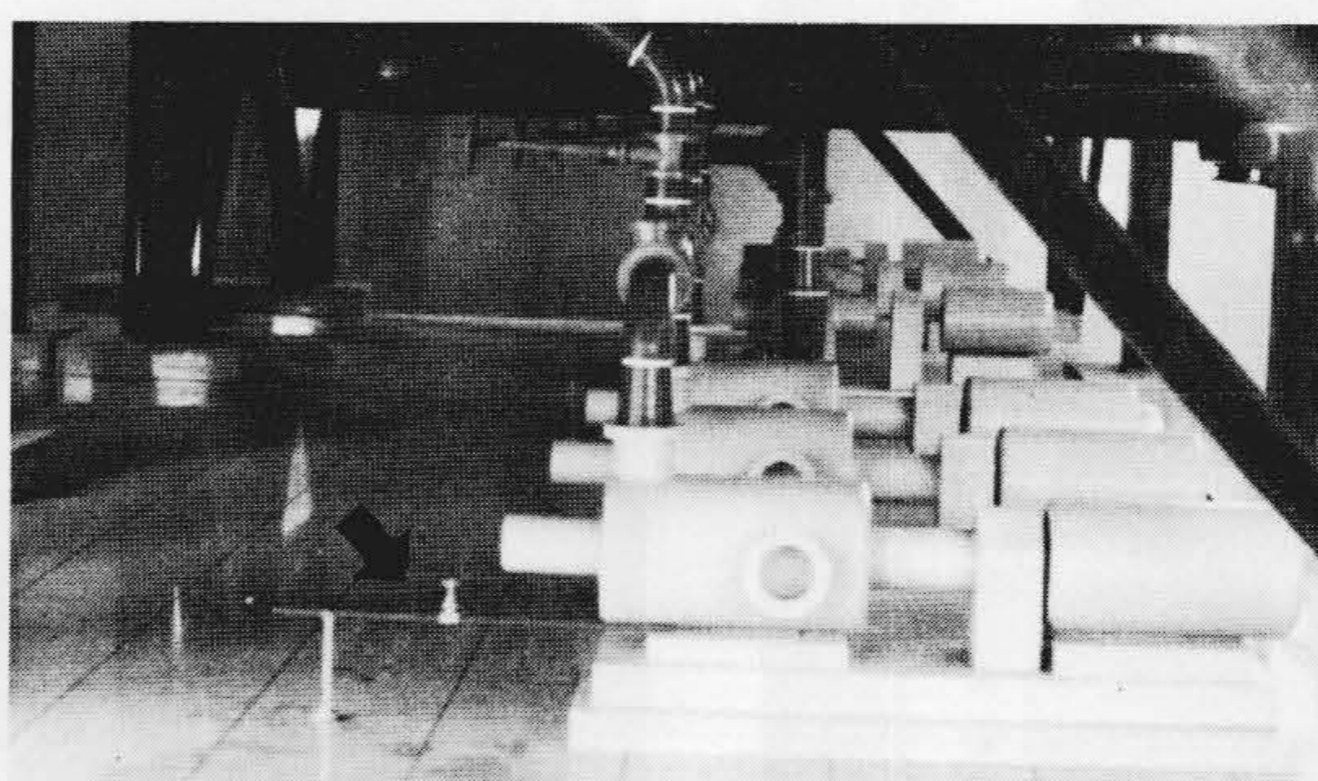
機器の搬入検討も、機器配置計画時、事前検討がなされるが、情報が少ない簡単な図面で検討されるため、十分検討されているとはいえなかった。しかし、モデルエンジニアリングでは確実に検討することができる。

例(3) 図5にモデルによるタンクの搬入検討を示すが、建築梁(ブレース)に阻害され搬入ができなくなっている例で、梁の取外しが必要となる。

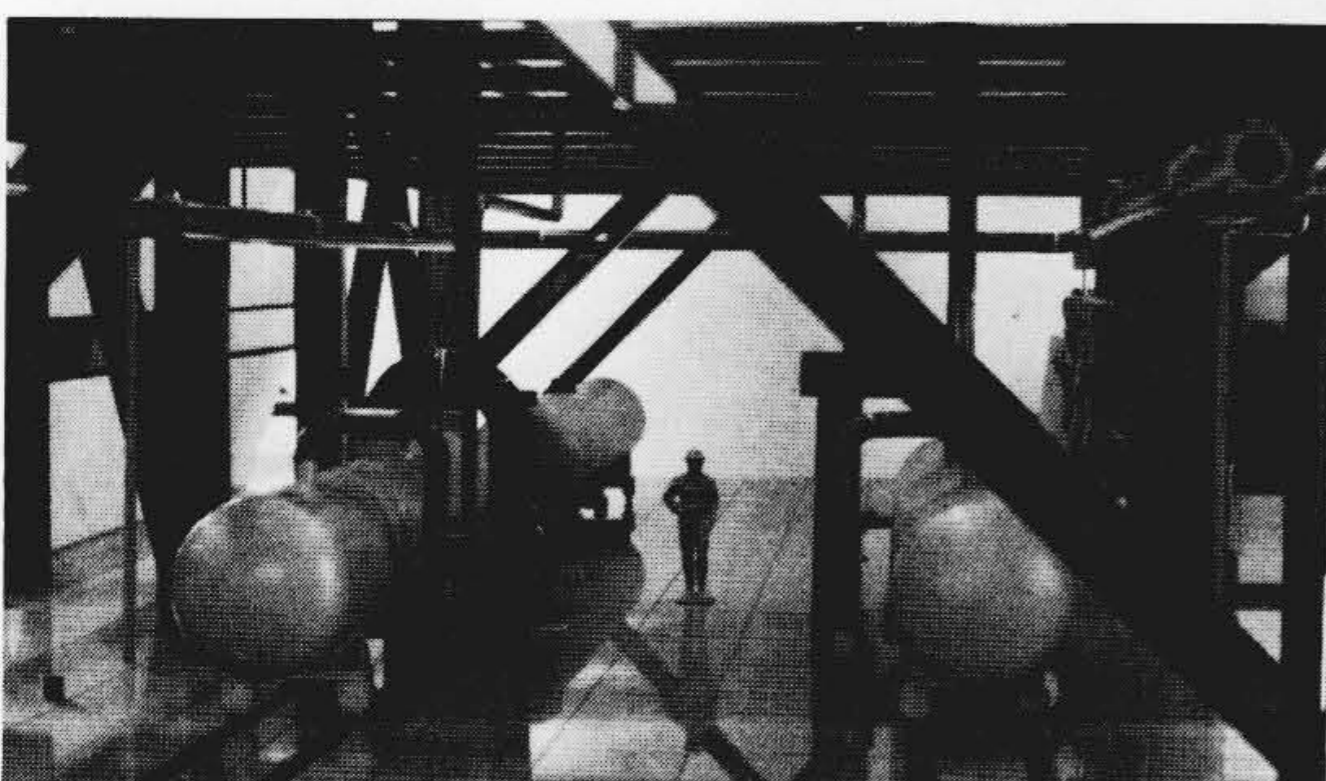
プラント配管の設計時期は顧客施工物の設計時期と食い違うため、その干渉を従来の設計法では見のがしがちであるが、モデルエンジニアリングによって簡単に解決できる。特に大径管など主要配管の干渉は、工事に与える影響が大きいので



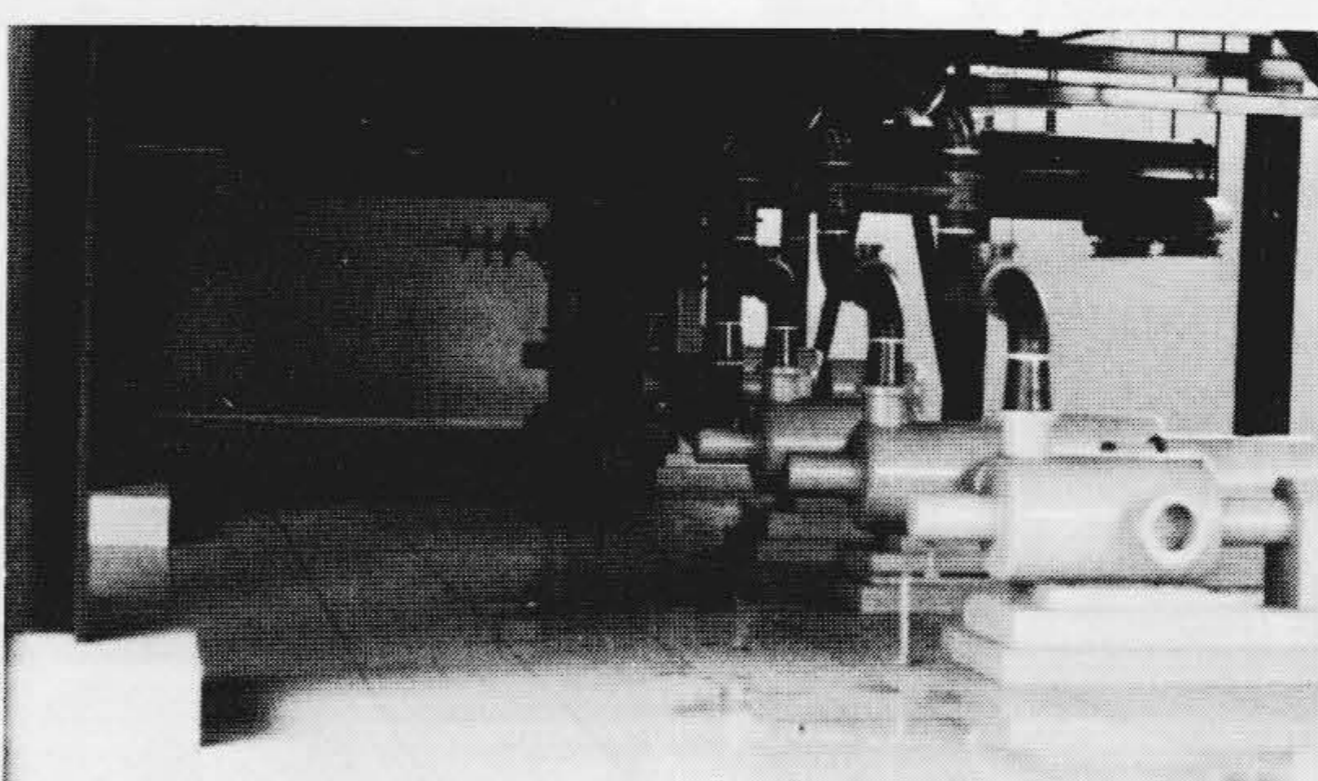
(a) 既設プラント用機器配置



(c) ポンプの集合化配置



(b) 操作性改善後の機器配置



(d) ポンプ集合化の改善配置

図4 モデルエンジニアリングによる機器配置改善 機器の配置計画により、通路及び操作性が改善されることがよく分かる。

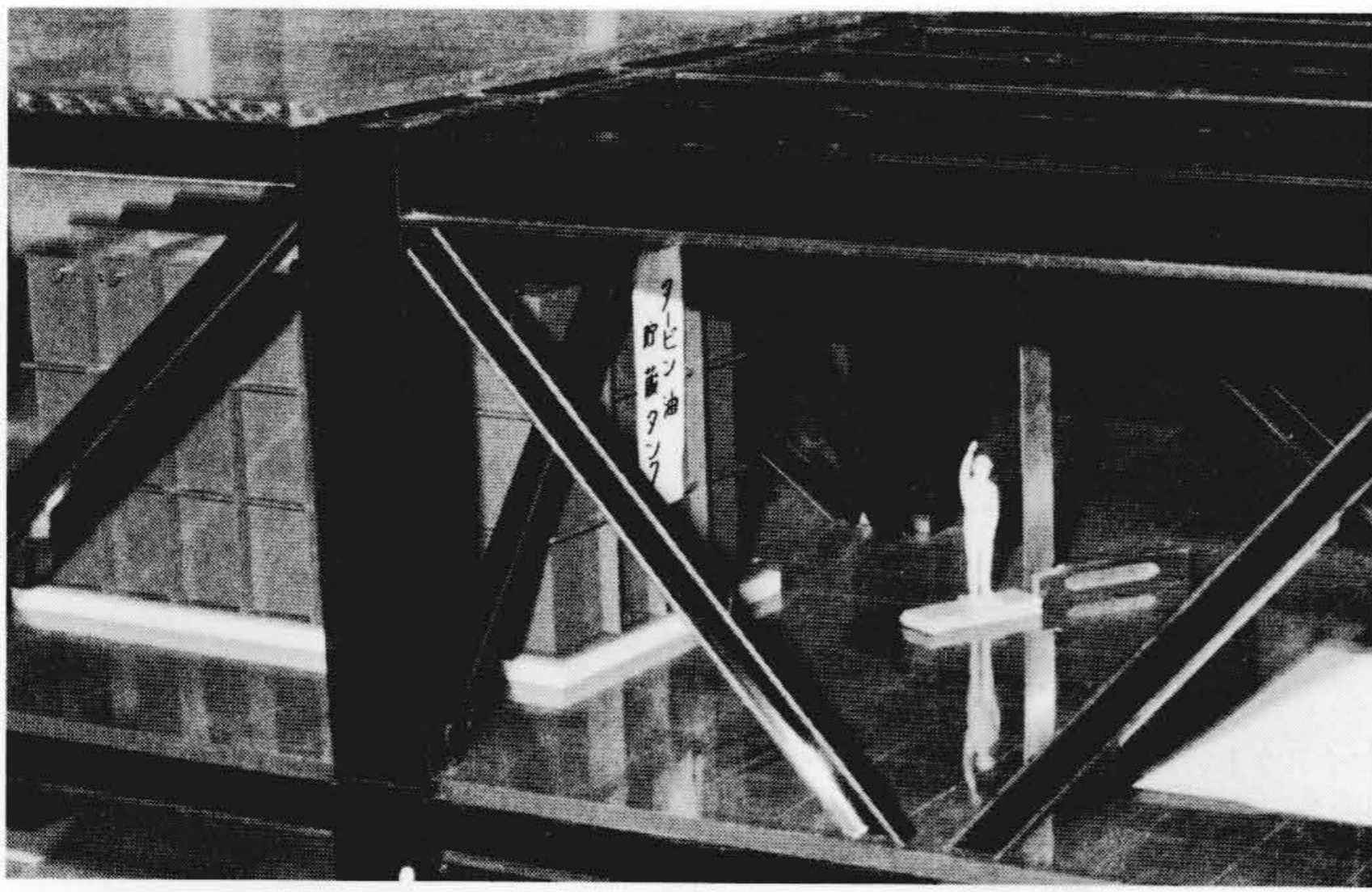


図5 機器搬入検討 モデルによる機器類の搬入を検討している例で、建築梁など先行設計に対し早期調整が可能となる。

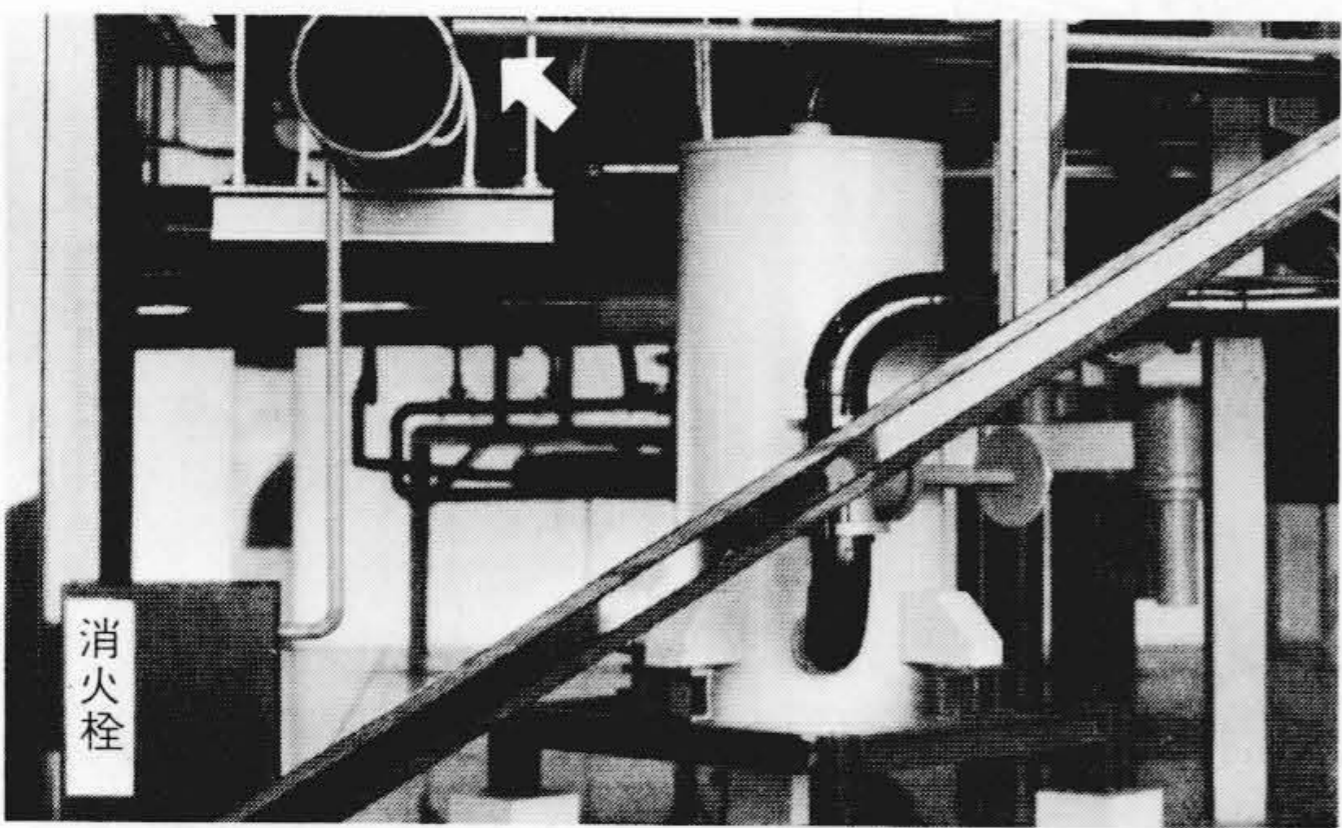
極力避けなければならないが、モデルエンジニアリングによりその効果が期待できる。

例(4) 図6(a)はボイラメーカー手配の配管と顧客手配の消火配管をモデルに組み込み、干渉チェックした例であるが、図面上では設計部署が違うため、相互チェックは不可能に近い。したがって、これらの不具合は現地据付けまで持ち込まれるケースが多い。

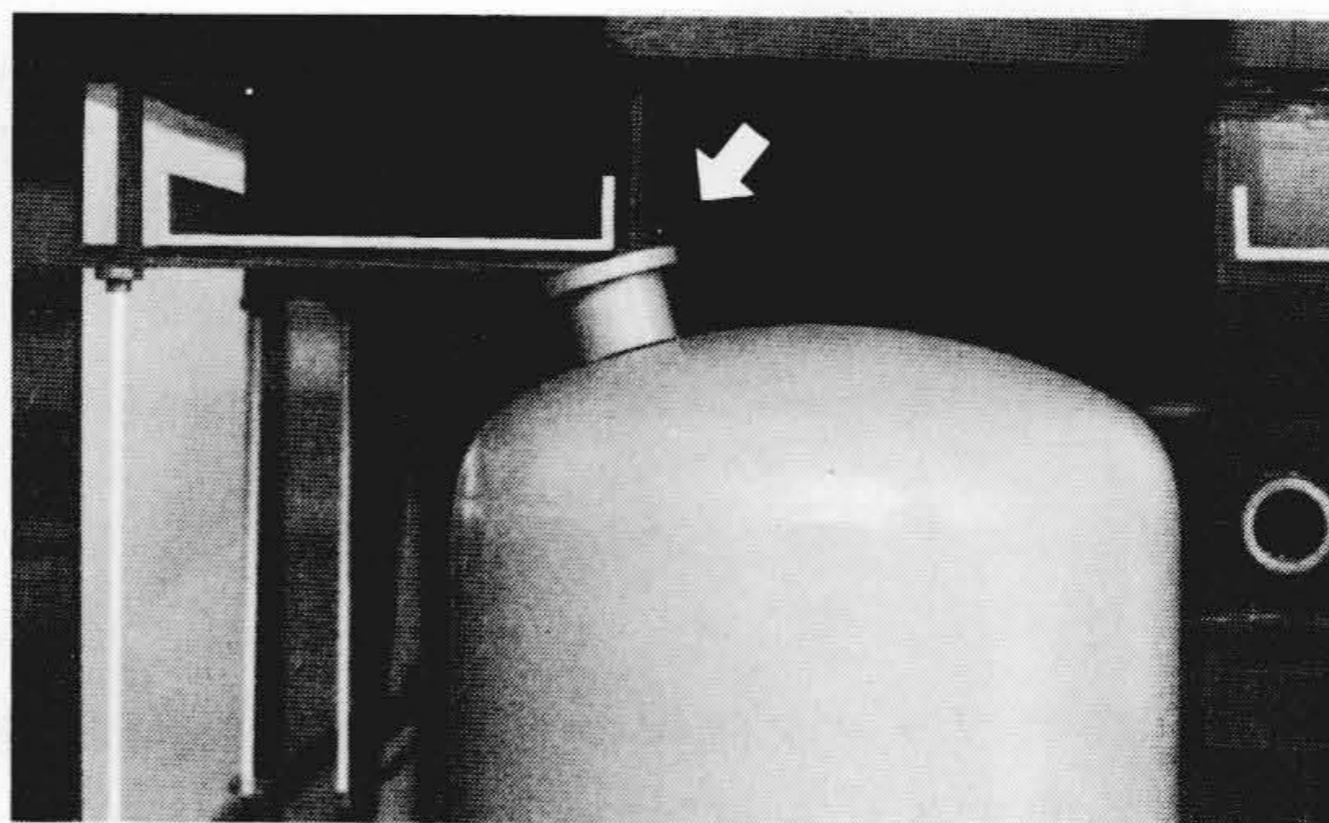
図6(b)に上記の他社間同士の干渉トラブルをモデルエンジニアリングで解決した配管経路を示す。この結果は、改善前、改善後の写真により両社に連絡し、再チェックを受けることにしている。

例(5) 図6(c), (d)は電気品、ケーブルトレイと補機との干渉チェックをモデルで相互調整している例である。

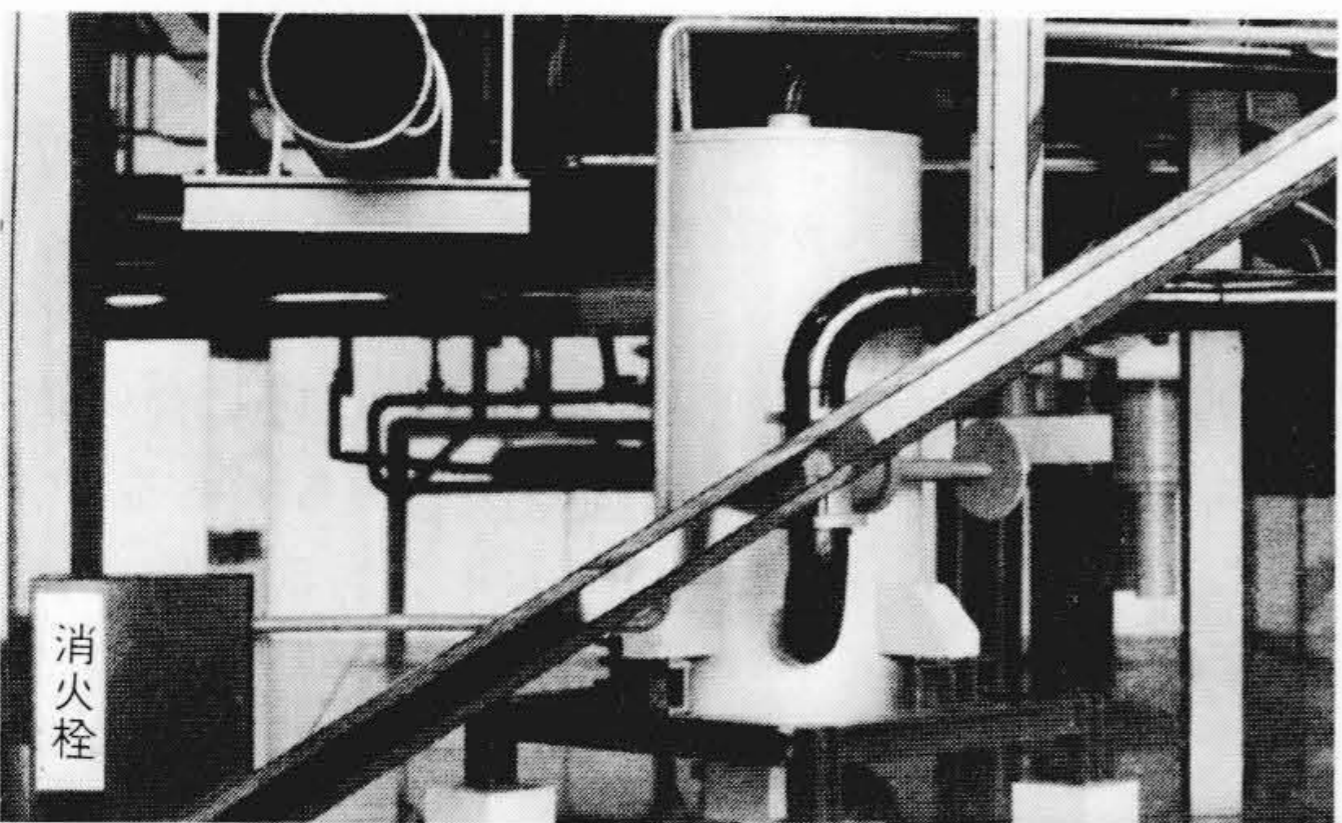
例(6) 図7(a), (b)はボイラ側の図面によりモデルエンジニアリングしたプラント配管同士、又は建築梁との干渉チェッ



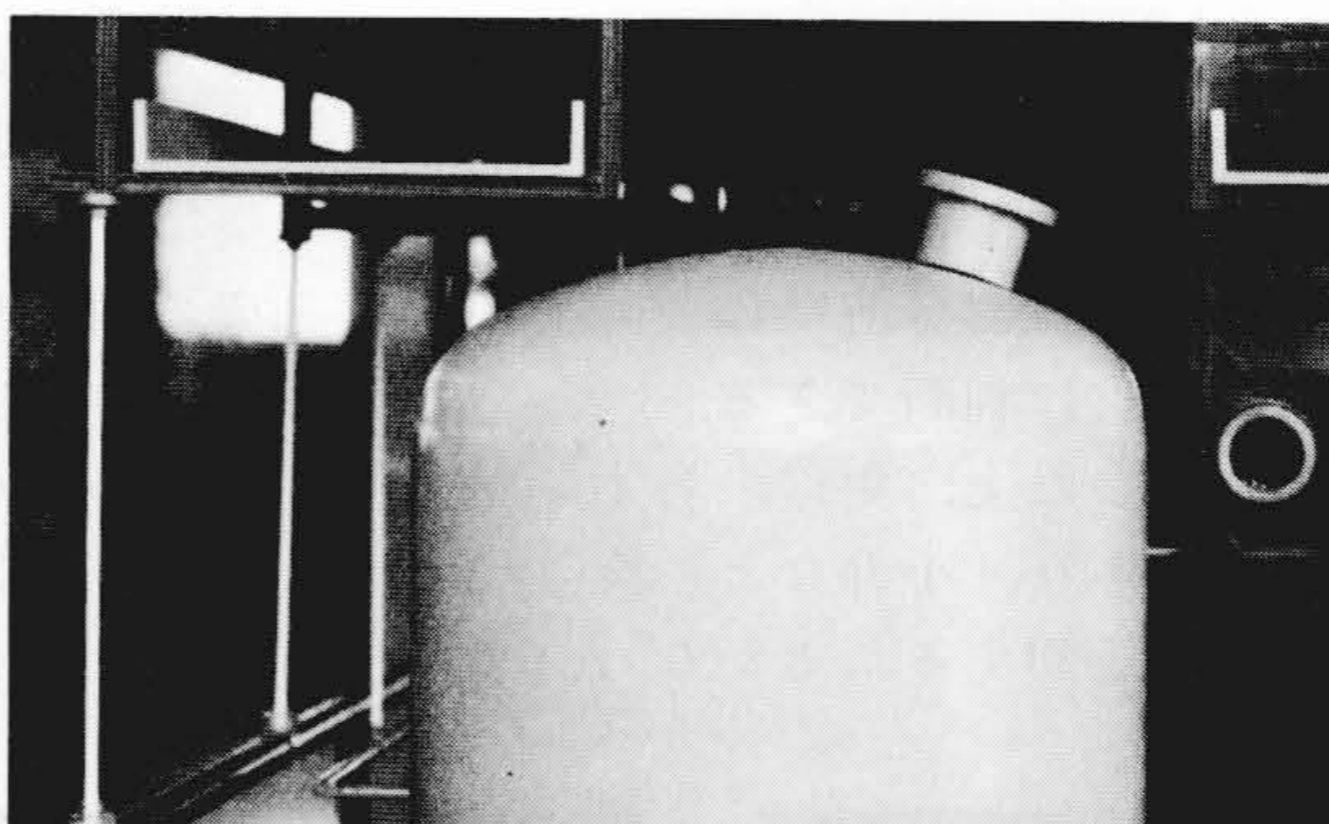
(a) ボイラ配管と顧客消火配管との干渉



(c) 電気品ケーブルトレイと機器ノズルの干渉

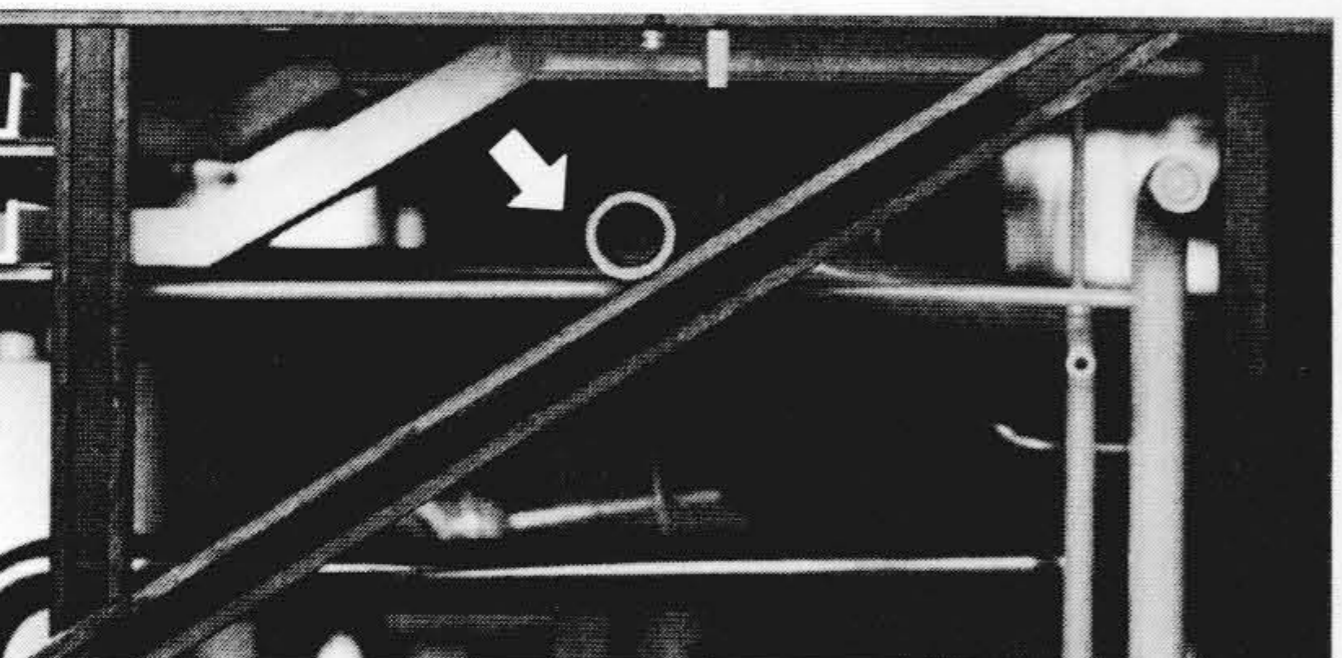


(b) 干渉調整経路

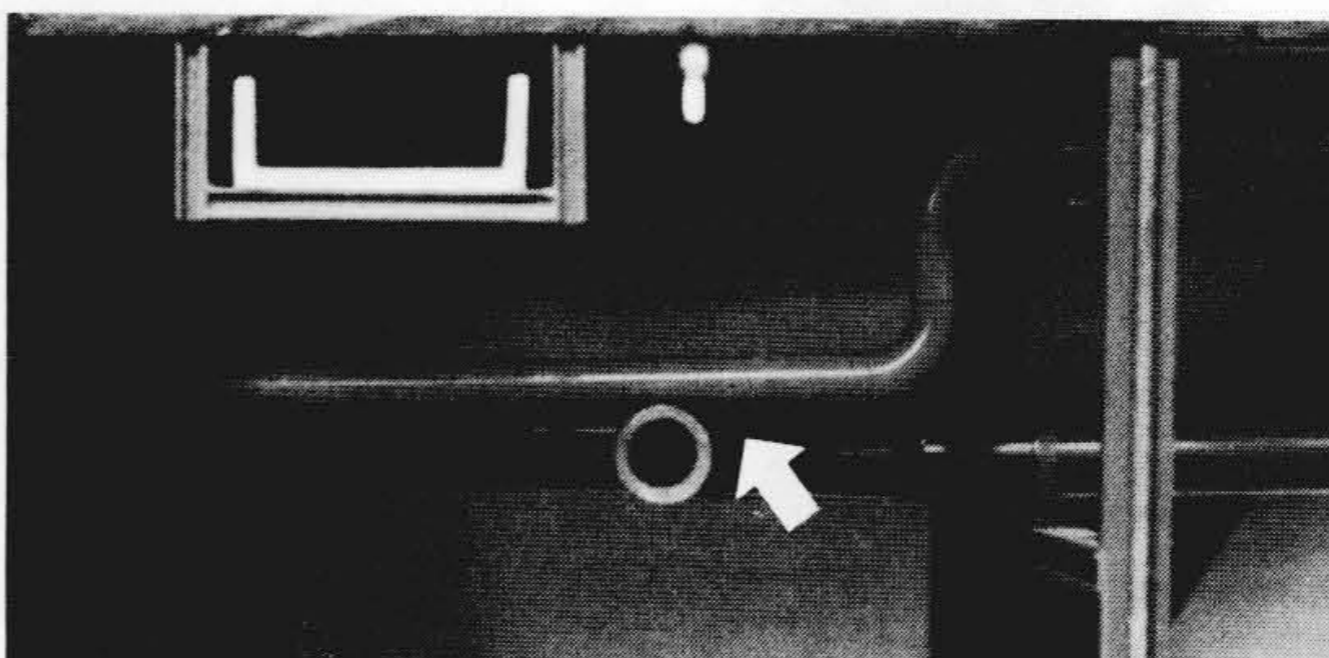


(d) 干渉調整した機器ノズル位置

図6 配管の干渉チェック(1) ボイラ側と顧客配管など、他社間の干渉チェックも確実に分かり、事前に両社に情報を入れることができる。また、社内間の問題も的確に判断、調整ができる。

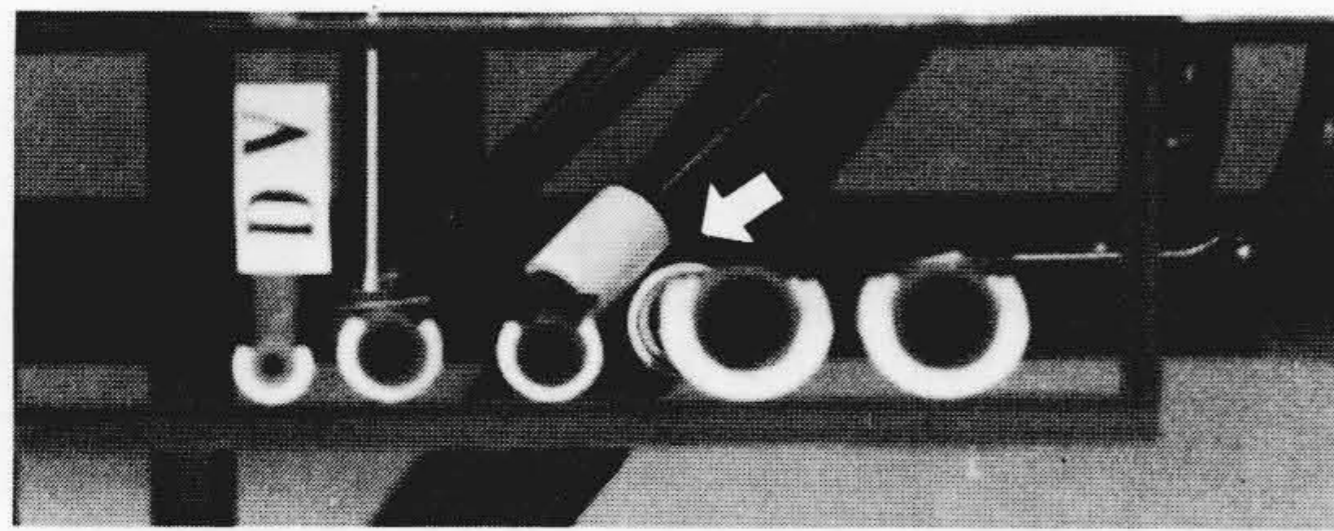


(a) 梁及び配管同士の干渉

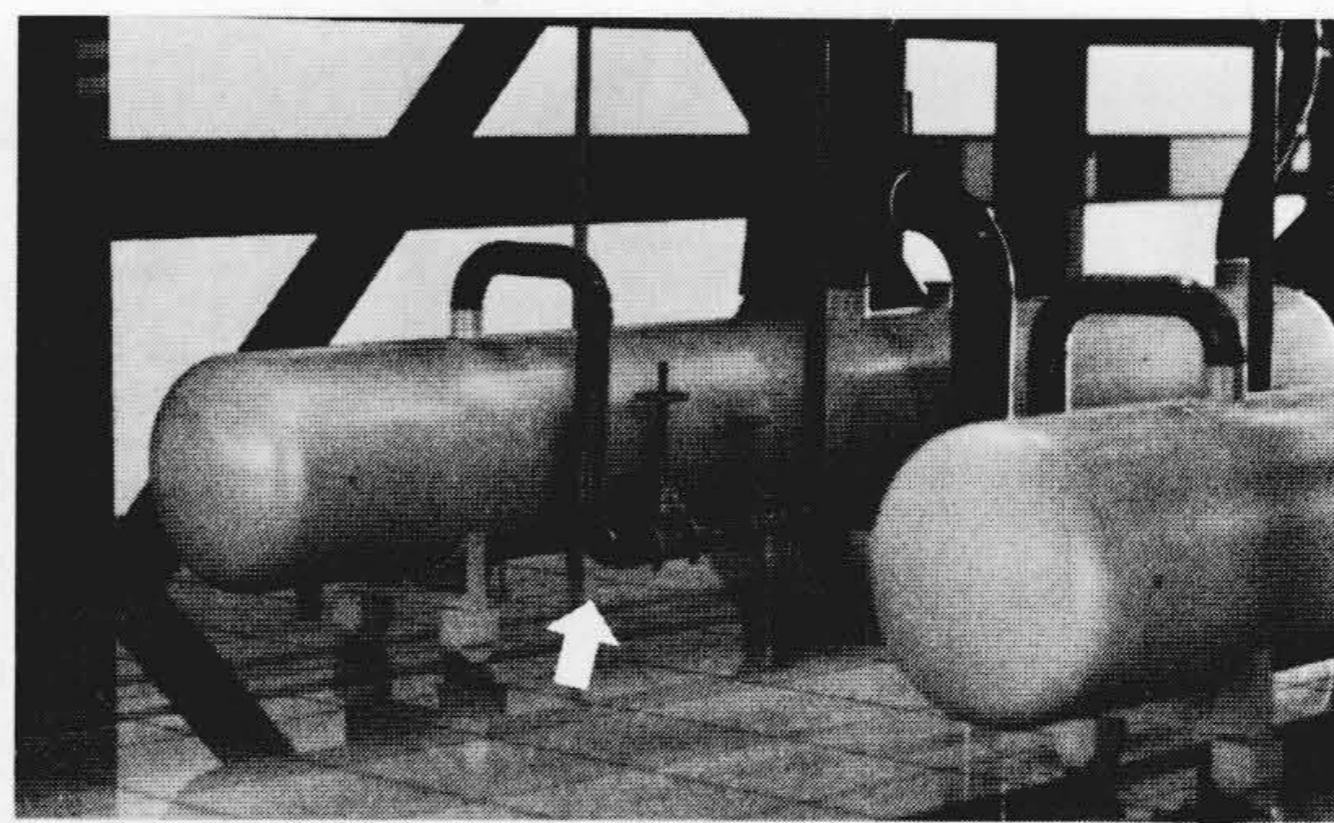


(b) 干渉調整後の経路

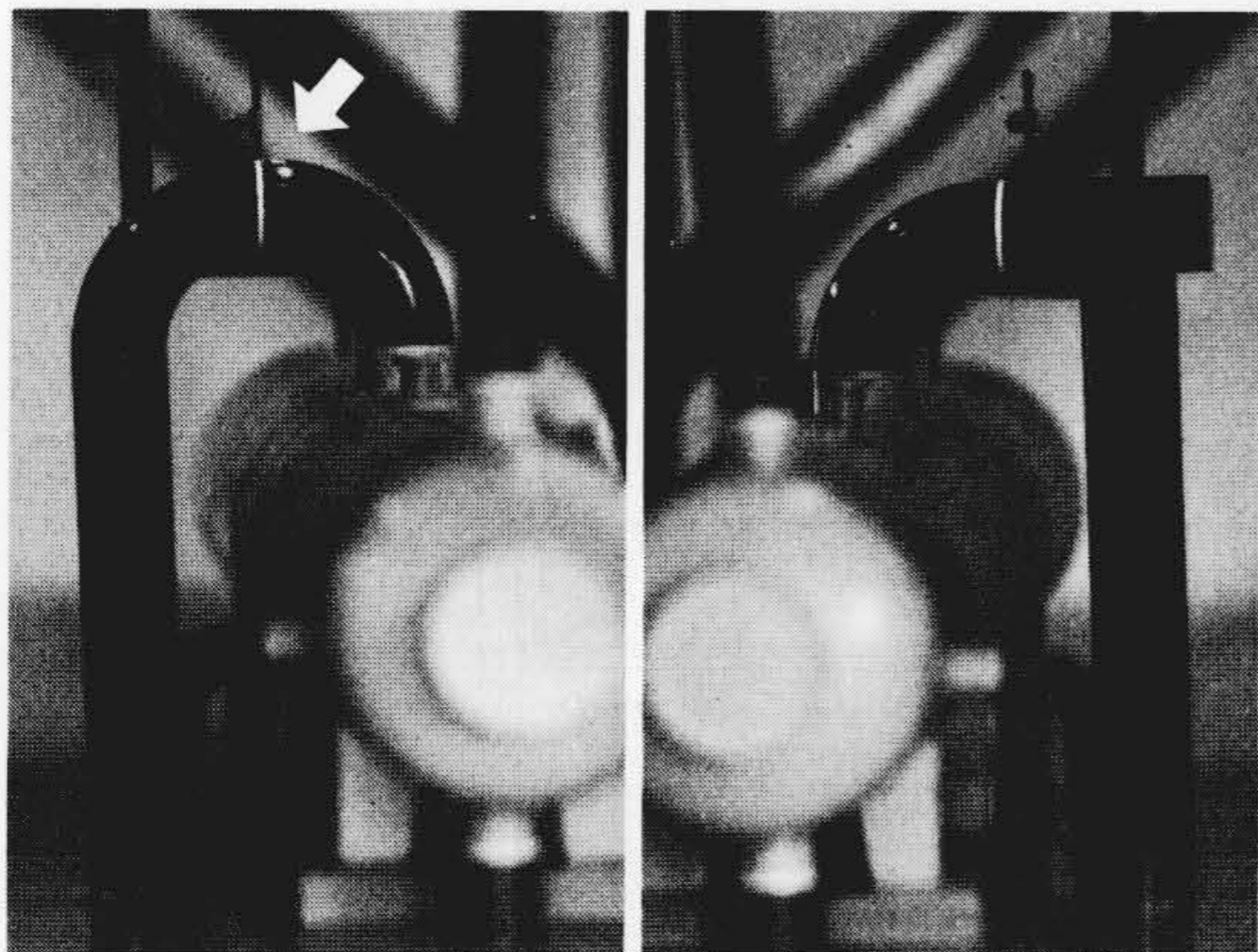
図7 配管の干渉チェック(2) 建築梁と配管及びプラント配管と他社配管の干渉チェックも、事前に、確実に検討できる。



(a) 熱移動部の配管干渉チェック



(c) 弁後の配管構造チェック



(b) 配管の構造的チェック



(d) 調整後の配管構造

図8 配管機能チェック
熟練技術者がモデルを読み、不具合部を的確に判断し、指摘することができる。

クした例である。

モデルエンジニアリングの検討内容で、最も難しいのが配管機能チェックである。機能チェックの場合、モデルを見て判断するのではなく、モデルを読み取って判断しなければならないため、プラントエンジニアの高度な判断技術が要求される。

例(7) 図8(a)は交差するプラント配管とボイラ手配配管の干渉チェック状況を示すが、保温代を入れても多少の余裕があるように見受けられる。しかし、高温配管の場合、熱移動を見落とすことはできない。したがって、同図の場合は、更に配管ギャップを取った設計にする必要がある。

図8(b)の左側は、機能を考えて配管最上部に空気抜きを付けたが、配管の構造を考えに入れなかった例である。すなわち、大口径のベンドは突合せ溶接式エルボを使用するため、(1)ベンド同士の直接溶接はできない。(2)ベンドの最上部は溶接線があり、座類の取付けはできないなどの製作上の問題が検討されていない。同図右側はベンドを枝管に変え、モデルで検討し解決した例である。

例(8) 図8(c)は弁紋りによるフラッシュ流で弁後にエロージョン、コロージョンを誘発する構造のものである。同図(d)は、弁後をフラッシュ流のエネルギーを殺すターゲット構造としたものである。

火力プラント配管の計画では、操作性と合わせて機器分解を検討することは、プラント完成後のメンテナンス上重要な課題である。従来の図面では平面的な想像検討になりがちであるが、モデルの場合は立体的実像検討を可能とするので、より確実な検討ができる。

例(9) 図9(a)はアングル弁の整列配置で操作性を考慮した配置となっているが、完成後のメンテナンス可否をモデルでテストしている例である。

例(10) 図9(b), (c)は、操作性が十分検討されたモデルと実機の例である。

モデルエンジニアリングでは、モデルを主体とした各分野の同次元計画、設計を行なうため、相互チェックが容易で理想

的な整列配管類の計画ができる。また、つり装置でも一体化(総合ラックサポート化)ができ、従来のトラブル要因が解決される。

例(11) 図10(a), (b)は、従来の個別思想的配管配置及びサポートと整列化配管による総合ラックサポート化を示し、同図(c), (d)は総合ラックサポート化によるモデルエンジニアリングと実物写真例である。

なお、総合ラックサポート化は、配管振動も極めて少なく、また、振動防止も容易に取り付けられる利点がある。

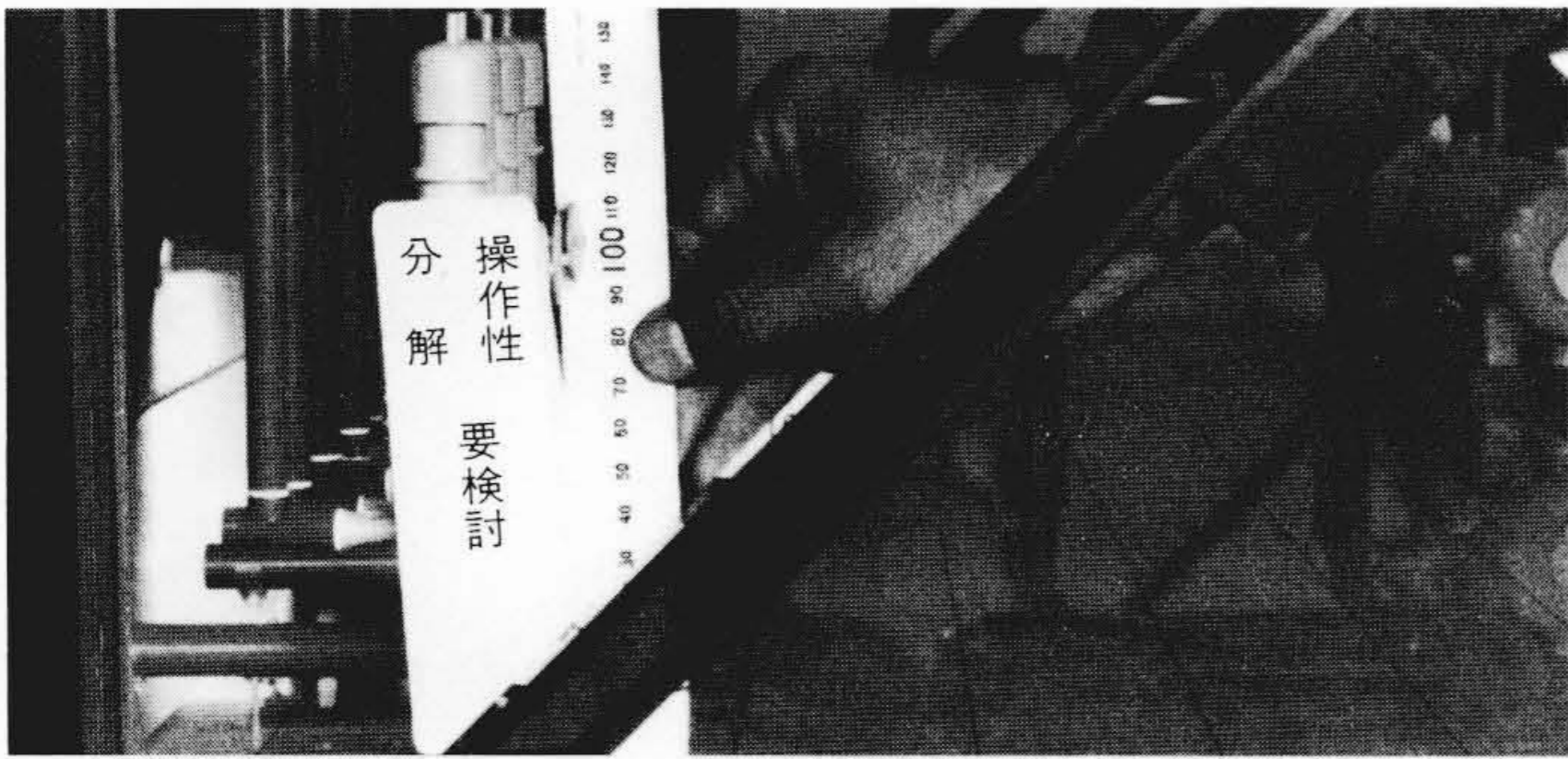
日立製作所の総合モデルエンジニアリングは、前述例のようにすべての情報を、組込み、チェック、調整されるほか、配管のプレハブ化搬入検討、現地での溶接位置など据付け上の問題点までも設計段階で総合的に検討されるので、トラブルは事前に解決され、現地にまで持ち込まれるようなことは、ほとんどなくすることができる。

4 効果

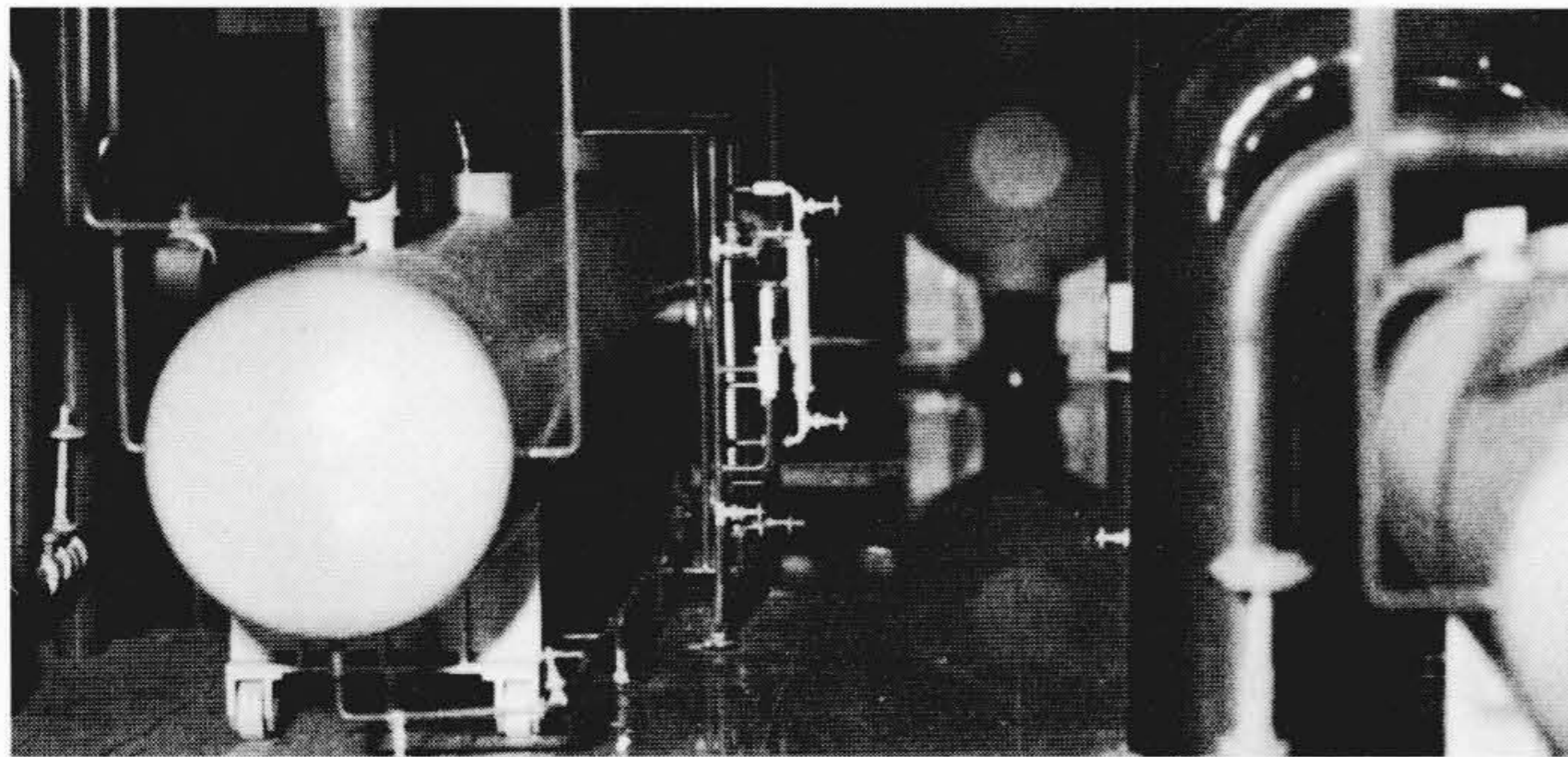
個々の効果については、前述の実例などで述べてきたとおりであるが、効果の数量的把握の一例として下記を紹介しておきたい。表1は、最近、モデルエンジニアリングを適用して建設が完了した500MWの火力発電所タービンプラントと、従来の設計法で過去に建設された類似タービンプラントとを比較し、現地建設時での改造などを行なった不具合件数の減少具合を、原因別及び機器別に表わしたものである。これによれば、設計時の検討不十分に起因する不具合件数が大幅に減少しており、いかにモデルエンジニアリングが設計改善上で大きな効果を発揮するかが分かる。

5 結 言

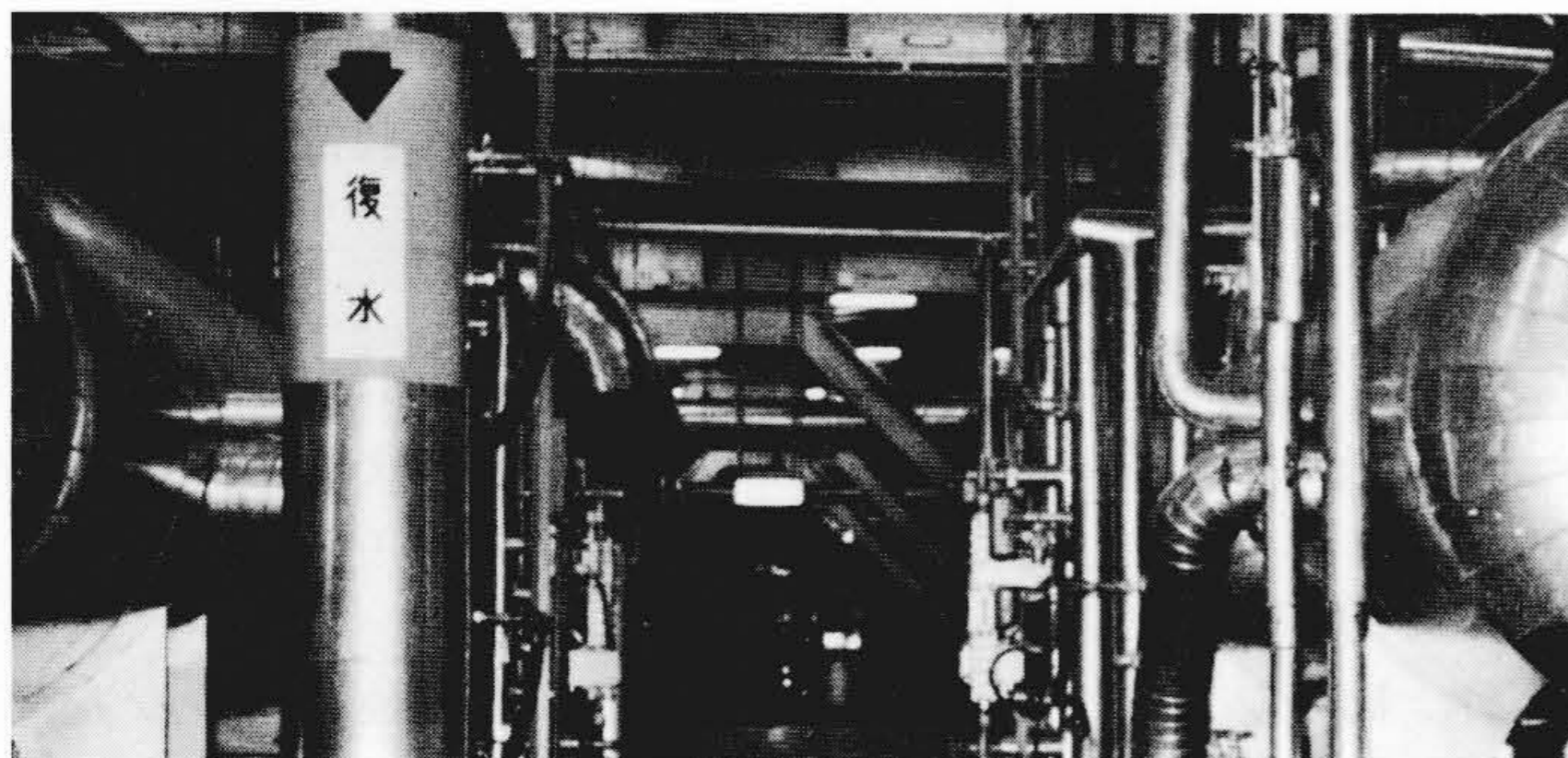
火力発電プラントの設計に当たって、モデルエンジニアリングシステムを開発導入し、実施に移してきた結果、(1) 平面的な複雑な配管図象の代わりに、立体的モデルプラントにより設計段階で顧客の意見が十分反映されるため、顧客のニーズに合った最適プラント設計ができた。



(a) 弁の操作性及び分解の検討



(b) 操作性検討モデル



(c) モデルによる操作性を反映した実機

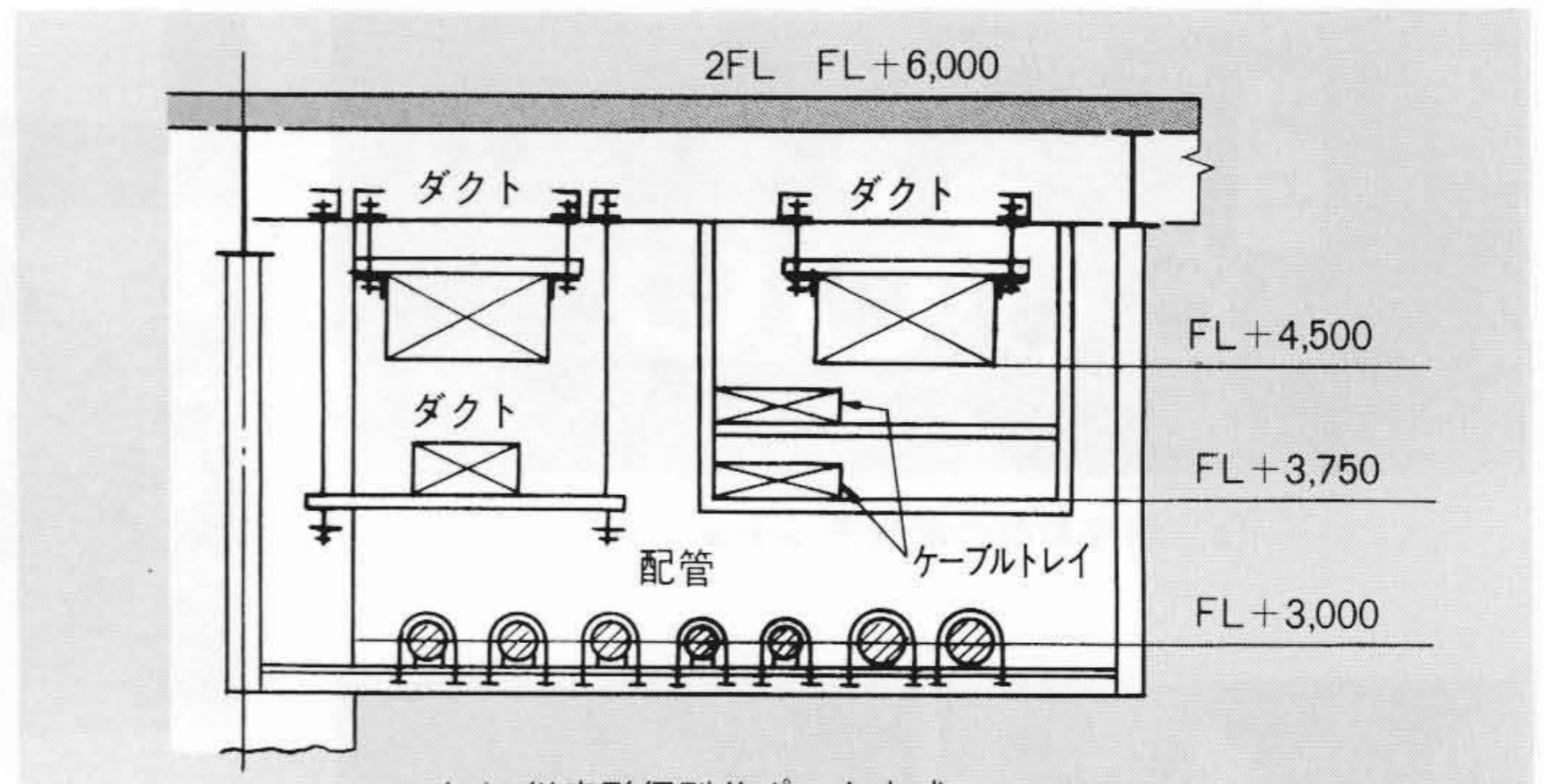
図9 モデルエンジニアリングによるメンテナンス及び操作性
 日常の運転、点検に最適な弁、計器のモデル配置が、実機で十分反映されているのが分かる。また、モデルでは完成後のメンテナンスまで十分な検討、調整が行なわれる。

表1 現地建設時での不具合減少件数 モデルエンジニアリング法を適用した場合の、適用しなかった場合に対する建設時での不具合件数の減少件数を示した。

合計不具合減少件数			
原因別		機器別	
設計	263件	配管	209件
製作	24件	サポート	41件
据付け	29件	弁、計器	41件
その他	30件	電気品	27件
—	—	機器ほか	28件
計	346件	計	346件

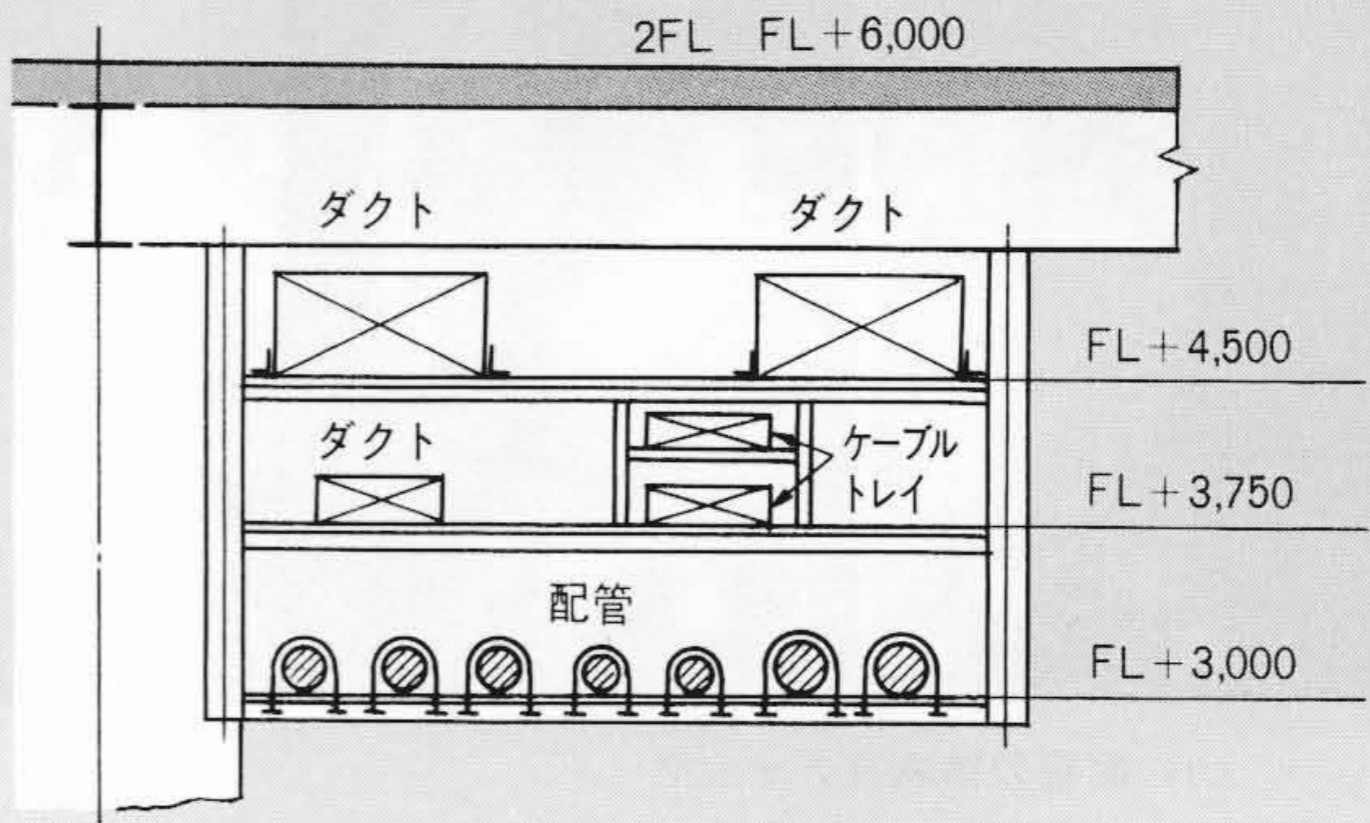
(2) 設計初期から製作、据付けなどの現場部門の意向が入りやすく、プラントの質的向上、施工時のトラブル、安全性及び工程管理の事前検討が行なえ、理想的なプラントのアレンジができた。

今後は、更に、モデルの有効活用の拡大を図ると同時に、モデルの直接図化法について、写真技法による座標解析技術導入の検討を進め、モデルエンジニアリングを主体とした設計システムの合理化及び品質向上に、よりいっそうの努力を傾注する考えである。



(a) 従来形個別サポート方式

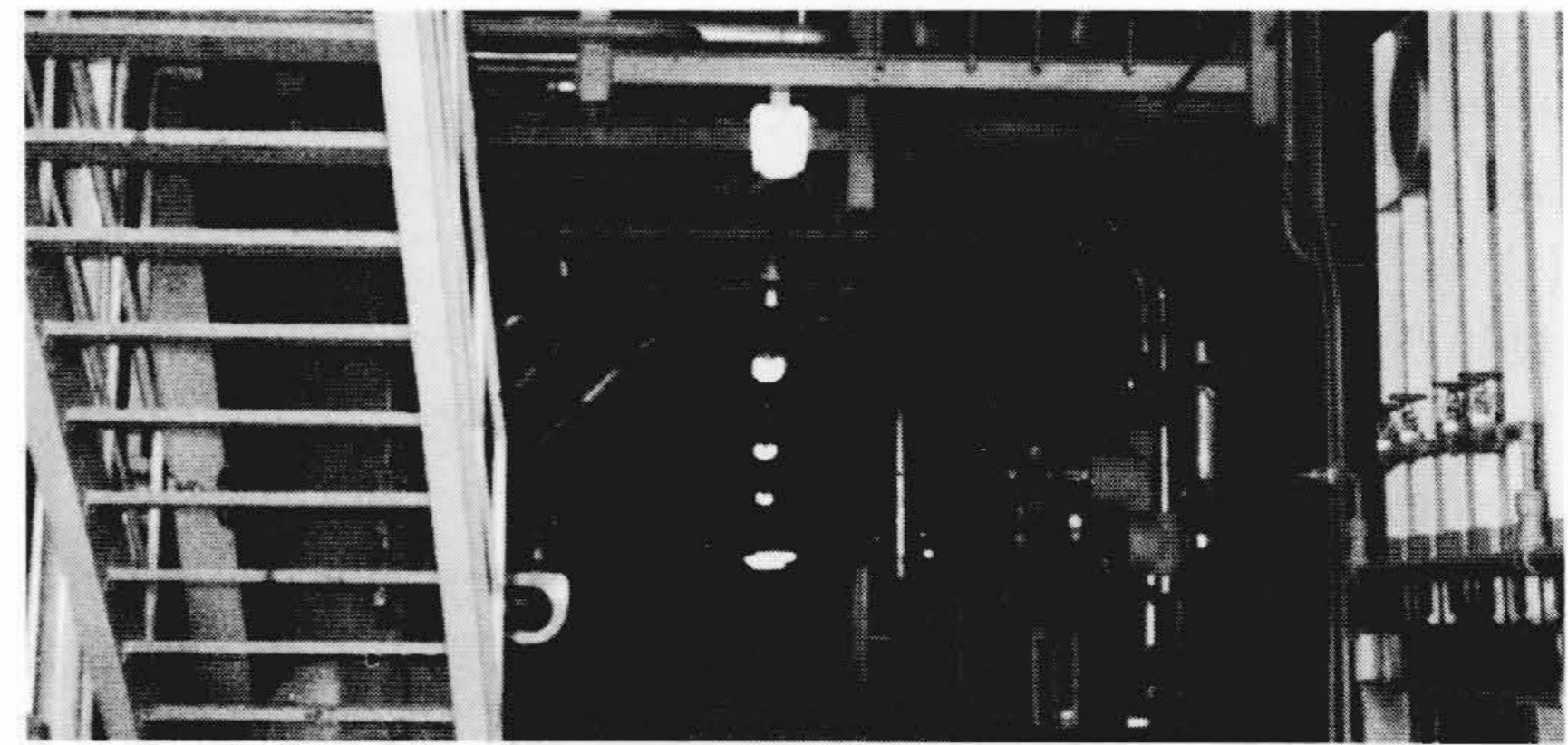
注：略語説明
 FL(Floor Level)



(b) 改良形総合ラックサポート方式



(c) モデル化した総合ラックサポート



(d) 実機総合ラックサポート

図10 総合ラックサポート 従来の個別サポートに比較して、改良形総合サポートの単純化が分かる。また、モデルによる総合ラックの検討が実機に反映されていることが分かる。

終わりに、本システムの設計開発に際し、終始御指導をいただいた関係各位に対し、深く感謝する。

参考文献

- 1) Robert M. Sandifer and Miles S. Pollack : Nuclear Power Plant Modeling-The Duke Power Approach. American Engineering Model Society Seminar 1976
- 2) American Engineering Model Society Handbook July 1975