

プラント合理化 — 配置・建物・建設工法の検討 —

Enhancement of Nuclear Power Plant Design—Study on Plant Layout, Building and Construction—

原子力発電は、プラントの建設費が発電単価に占める割合が大きく、その合理化が重要な課題となっている。ここでは特に、相互に密接な関連をもつ配置・建物・建設工法の観点から合理化プラント概念の検討を行なった。

建設工法については、大形揚重機を用いた大ブロック化が有効と判断されるが、飛躍的な改善策として原子炉圧力容器のつり込みが可能な移動式大形揚重機の活用があり、狭い敷地条件の我が国で、これを有効に活用するためのサイトプランを提案している。また、工事物量の低減は建設合理化の基本であり、このための建屋容積が大幅に低減可能な配置案としてステップイン型、円筒型の2案を提案している。

鈴木忠男* Tadao Suzuki
長瀬勝一** Masakazu Nagase
落合兼寛* Kanehiro Ochiai

1 緒 言

我が国での商業用原子力発電設備は、1966年に日本原子力発電株式会社東海1号機が運転開始して以来、安全性・信頼性の向上に国を挙げた努力を積み重ね、現在約70%の高い稼働率を上げるに至っており、これからは、ますます発電の主体としての重要度が増し、安定した電力の供給源となることが期待されている。安全性の確保に極めて大きな注意の払われている原子力発電では、特に発電単価にプラント建設費の占める割合が大きいため、プラント建設の合理化が今後の極めて重要な課題であり、日立製作所では、技術協力関係にある米国ベクテル社の協力を得てこの問題に取り組んでいるが、ここでは、その活動のうち相互に密接な関係をもつプラント配置、建物、建設工法について、最近の検討内容を紹介する。

プラント建設の合理化には、電気・機械設備本体の設計・製作、更にはシステム計画の合理化による工事物量の低減が

基本であることは言うまでもないが、近年の傾向として、配管、ケーブル、サポートなどや、換気空調系のような付帯設備の物量が大きく増大していることが挙げられる。図1は、米国の電気出力1,100MW級沸騰水型原子力発電プラント5基について、建屋容積と2 1/2in以上の配管長さの関係を分析したものであるが、同一出力であってもプラントごとによりかなりの差があり、また、建屋容積と配管長さが強い相関をもっていることが明らかである。この原因としては、冷却水系のような補助系の系統構成、ユニット間の共用設備の差などによるものもあるが、配置計画の差も大きな要因の一つと考えられている。また、近年据付工事費も著しく増大しており、建設工法の合理化も極めて重要であるが、抜本的な改善には建設工法に見合ったプロットプランの計画が必要となっている。

以上述べたように、プラント建設の大幅な合理化には、建設計画初期での総合的なプラント計画が極めて重要となっており、特に上記の観点から検討した将来の合理化プラントの姿を以下に示す。

2 建設工法の合理化

建設工法については、従来から工期短縮の施策が精力的に検討され、諸外国に比べて最短の建設工期を可能としている¹⁾。現在の建設工程の特色は、建設のクリティカルパス上に、建築工事と電気・機械工事が入り組んでいることであり、工程の短縮及び合理化には、工事の並進化及び大形ブロックのプレハブ化が不可欠となっている。これらの基本的考え方は、据付現場から離れた場所（若しくは工場）で大ブロックに組み上げ、大形揚重機を用いて据え付けするという思想であり、最近では大容量のタワークレーン(130t×50m)を原子炉建屋に隣接設置して効果を挙げている。しかし、発電所のプロットプランが許せば、700t級の移動式大形揚重機を用いることにより、最大重量物である原子炉圧力容器を建築工事との干渉なしに据え付けることも可能となる。

米国ではサイトが広いこともあり、従来からこの移動式大形揚重機を採用しているが、それは工程短縮の目的もさることながら、ユニオンとの関係で優秀な現地労働力を大量に確保することが困難であり、また、人件費も高いことが背景と

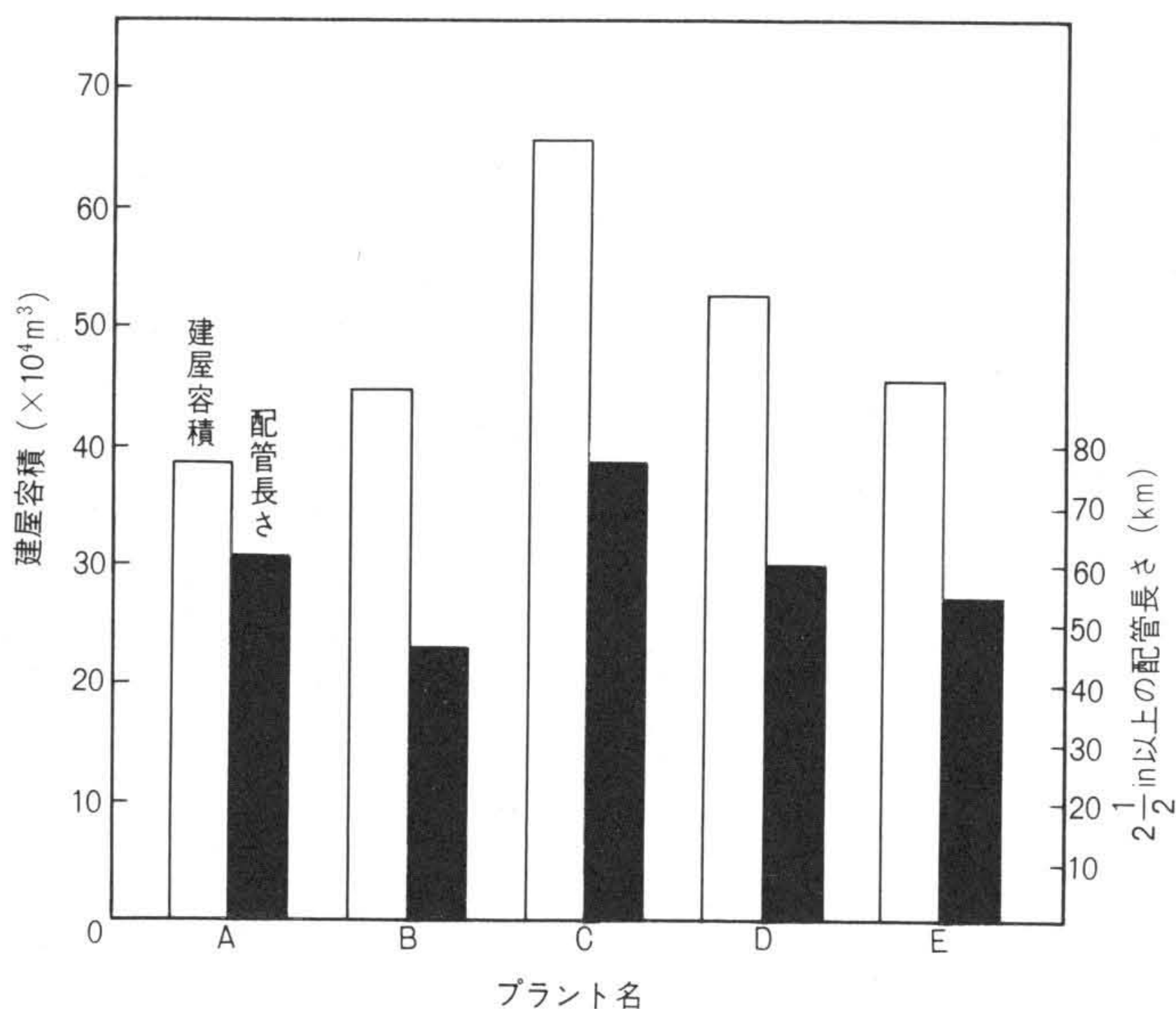


図1 建屋容積と配管長さ(米国BWRプラント例, 電気出力1,100MW級)
同一出力でも、プラントにより建屋容積の差が大きく、建屋容積と配管長の相関性がある。

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所原子力事業部

なって、可能な限りプレハブ化し品質の向上と現地労働力の削減を図った結果であり、今後、多プラント時代を迎え現地労働力が不足するであろう我が国でも、その方向に確実に移行すると考えられる。

日立製作所では従来から先進的に揚重機の大形化を図り、効果を挙げてきたが、最近の建設工事改善の強いニーズに対応すべく、米国で数多くの実績をもつ世界最大級の大形クローラークレーン(トランジリフトⅣ型)を米国ランプソン社から導入することを決定し、昭和60年夏ごろには稼動開始の予定である。クレーンの主要仕様は表1に、また、原子炉压力容器を建築工事との干渉なしに建屋に据え付けている状況を図2に示す。

この大形クレーンは移動式であるため、基礎工事が不要であるほか、最適の位置から多目的に活用することができる。例えば、従来タワークレーンを用いていた原子炉格納容器もより大形のブロックで効率よく据え付けることができ、発電機などの大形機器及び建築資材の据付、更にはサイト搬入時の水切り用としても利用できる。米国では円筒型原子炉建屋の屋根ドームの一体つり上げにも用いられており、建設の合理化に大きな効果を挙げている。

表1 大形クローラークレーンの主要仕様 モードBで最大重量物である原子炉压力容器を据え付ける。

No.	項目	諸 元	
1	形 式	米国ランプソン社製トランジリフトⅣ型	
2	容 量	モードA	作業半径60m 定格荷重400t
		モードB	作業半径54m 定格荷重750t
3	寸 法 重 量	クローラ全長	最大 約47m
		クローラ全幅	最大 約12.2m
		重 量	最大 約1,600t

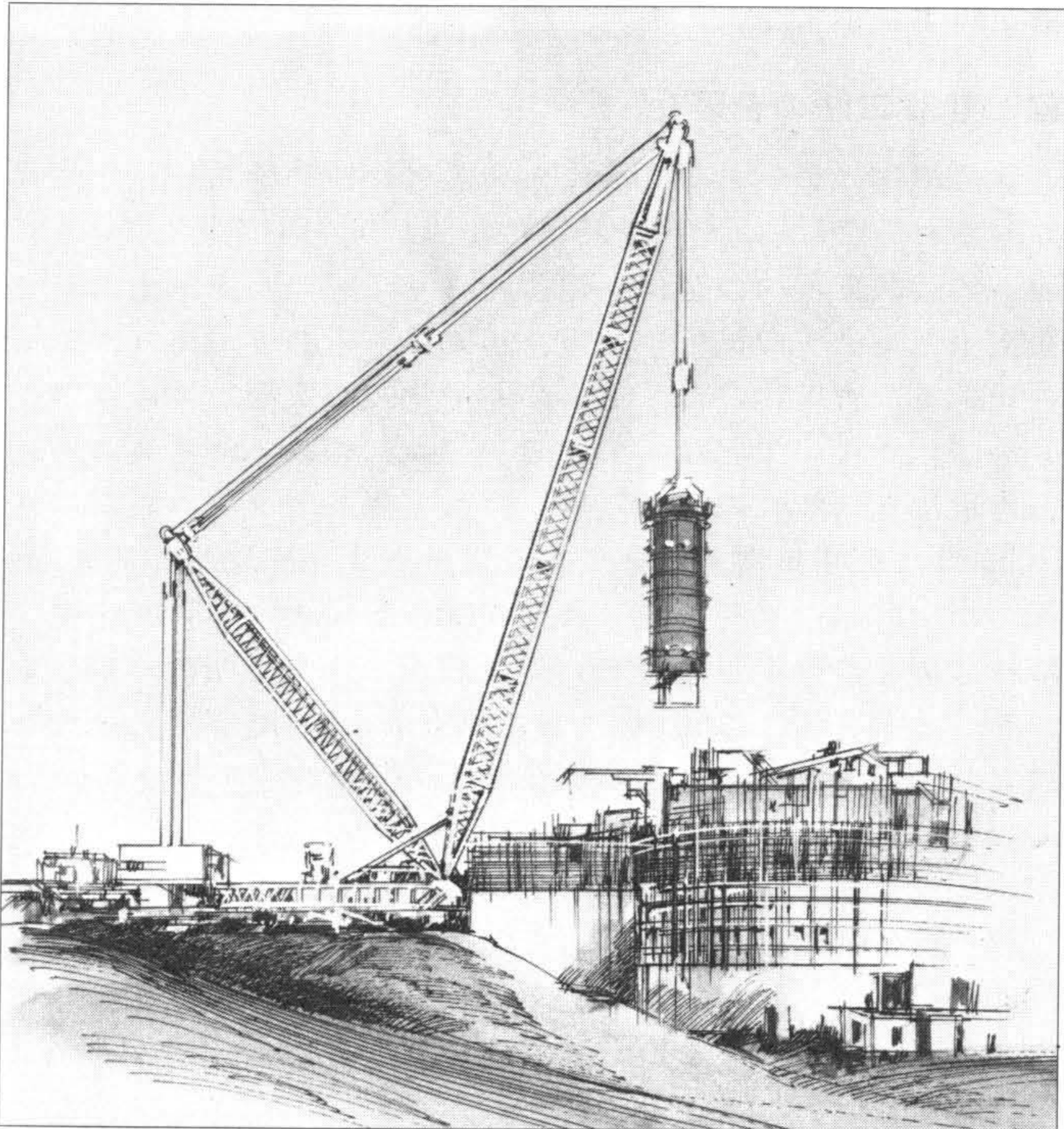
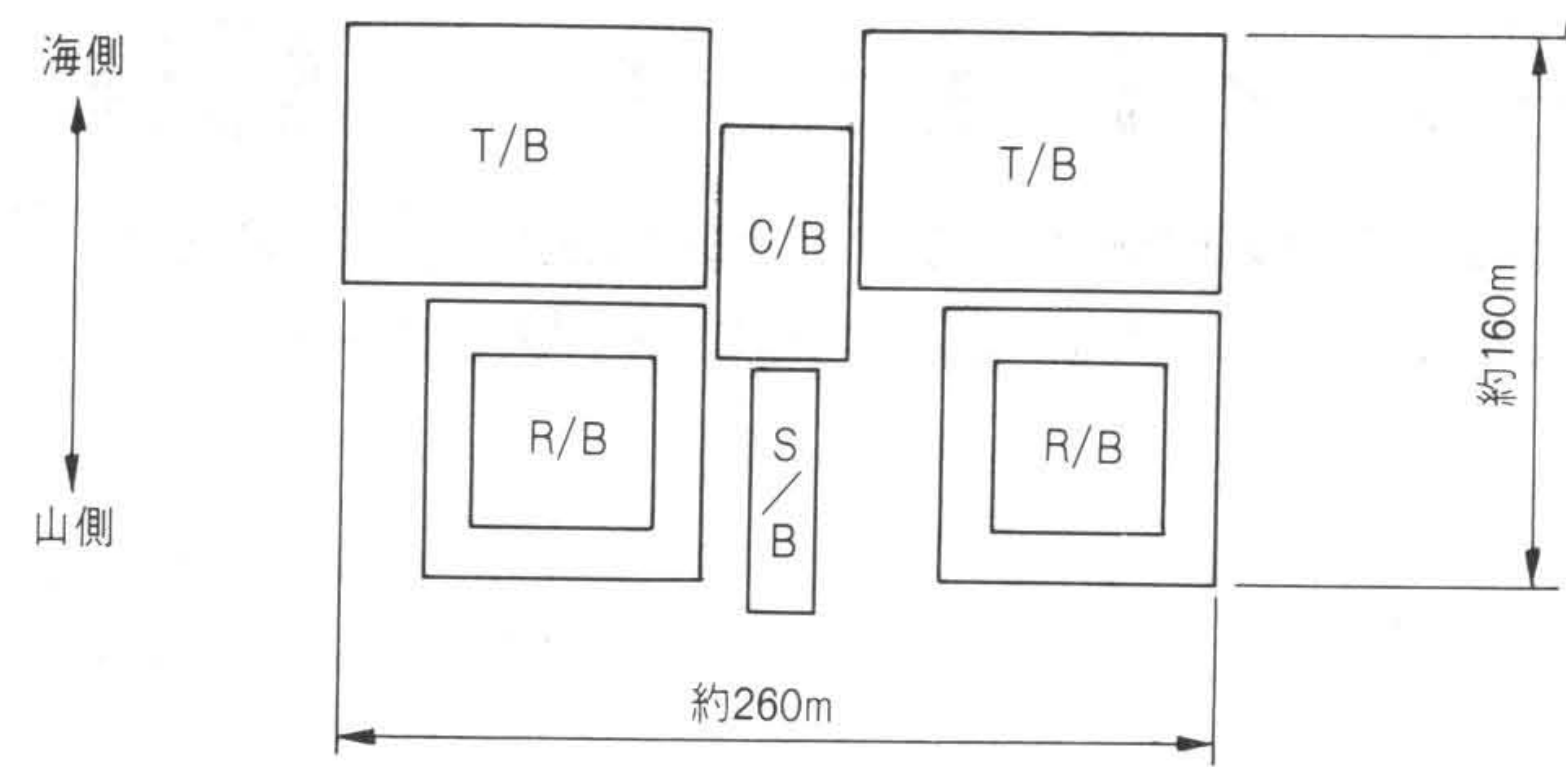
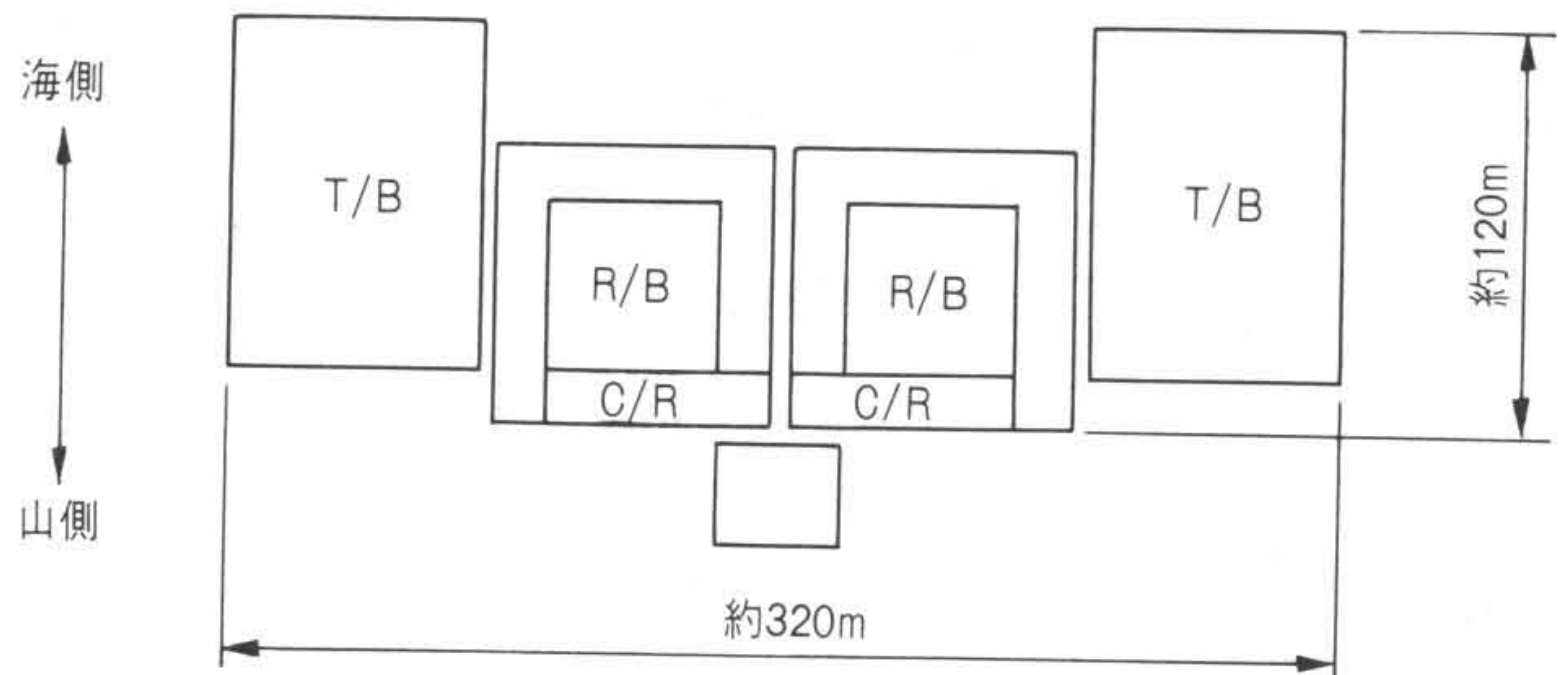


図2 原子炉压力容器のつり込み状態(予想図) 原子炉压力容器は、建築工事との干渉なく所定の位置につり込み、据え付けられる。



(a) 従来例



(b) 大形揚重機採用プラン例

注：略語説明
R/B(原子炉建屋) C/R(中央制御室)
T/B(タービン建屋) S/B(サービス建屋)
C/B(コントロール建屋)

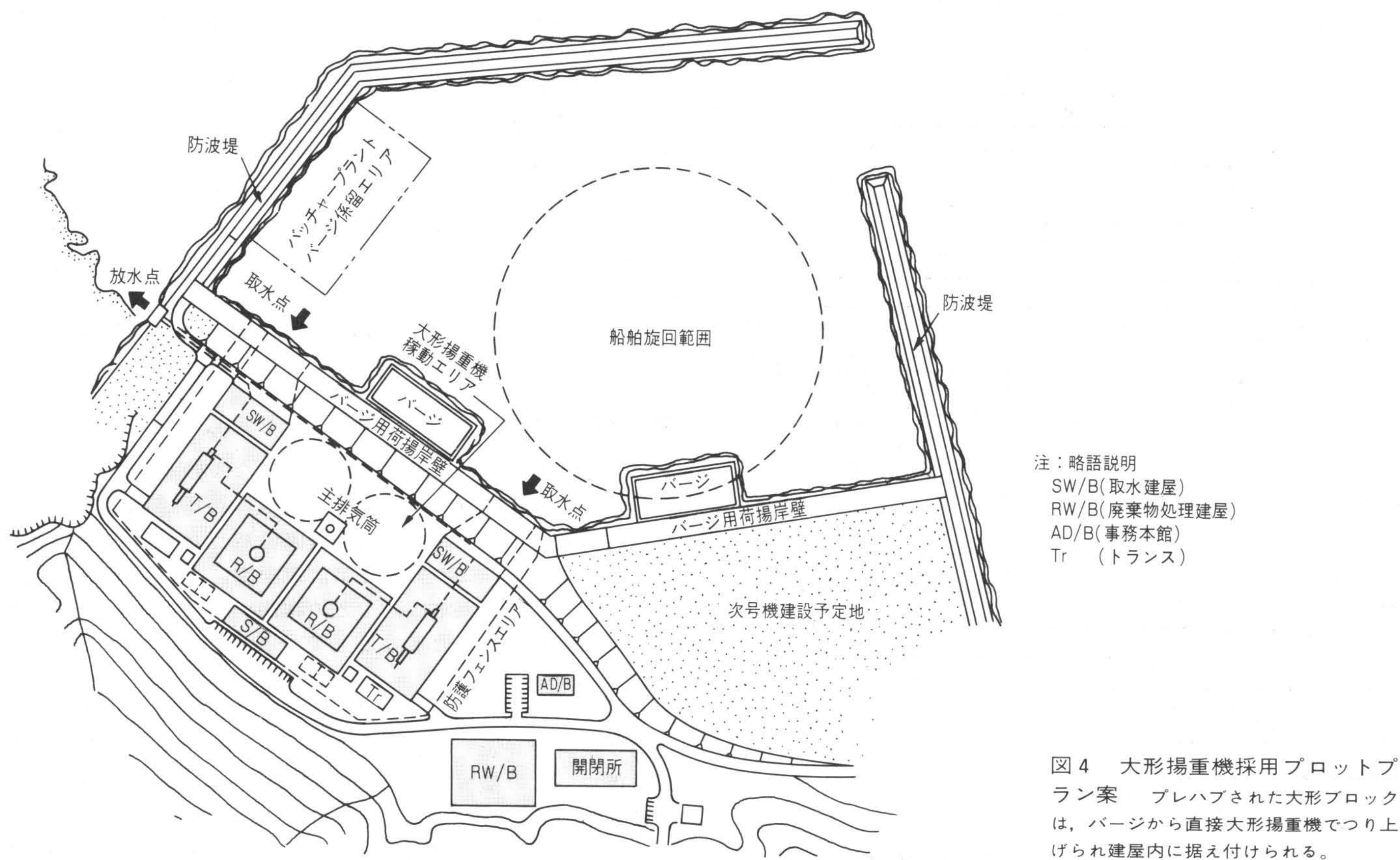
図3 主要建屋配置比較 大形揚重機採用プランでは、原子炉建屋、タービン建屋共に海側から接近可能となっている。

3 プロットプラン

大形揚重機を効率よく稼働させ、大ブロック化を可能とするためには、建設時の接近性を考慮した建屋配置計画が必要である。広大で平坦な敷地の取得が比較的容易な米国などでは、機能ごとに独立した建屋をI型(タービン軸方向に原子炉建屋を配置)に配置し、建設時の接近性を向上させているが、背後に山が迫った狭い敷地への建設を余儀なくされる我が国では、運転性などの機能を損なわぬ範囲で建屋配置を最適化する工夫が必要である。

図3はその一例を示すものである。従来のタービン建屋を海側に、原子炉建屋を山側に配置する方式は、なぎさ線方向の必要長さが短く、全体をコンパクトに配置できる利点をもつが、原子炉压力容器などの大物機器がある原子炉建屋が、背後の山とタービン建屋とに挟まれた形となり、特に2基が隣接したツイン型プラントでは建設時の接近性が低下する。同図に示す改善例では、大物機器が搬入される海側に移動式の大形揚重機が自由に動き回り、原子炉建屋及びタービン建屋につり込むための空間をもっている。なぎさ線方向の長さは、従来例よりも多少長くなるが、敷地造成時の切土量に影響の大きな山海方向は短縮され、サイトの地形によっては魅力あるものとなっている。この基本配置を我が国の典型的な地形に置くと、図4のプロットプランとなる。この案では、出来る限り工場でプレハブされた建設資材は大形バージによって搬入され、大物機器は移動式大形揚重機で水切りされ、直ちに建屋内に据え付けられる。バージの多用と搬入・据付の同期化によって建設スペースは最少化が図られ、また地形の斜面を利用した主要建屋の着岩設計がなされ、土木工事物量も低減される。

この案では移動式大形揚重機の活用により建設工事が合理化されているほか、ユニット間の連絡性をよくするため隣接



した中央制御室を原子炉建屋内に設置し、また取水建屋をタービン建屋に隣接させ、工事物量の低減、合理化が配慮されている。

4 建物及び配置の合理化

建物・配置の合理化は、機器の員数・寸法・形状と建物の構造に密接な関係をもっており、総合的に判断されるべきものであるが、建屋の容積の低減は単に建築工事物量の低減に寄与するだけでなく、配管ケーブル物量及び換気空調系設備容量の低減にも効果があり、合理化の重要な課題と考えられる。

既設及び計画中の主な沸騰水型原子力発電プラントの全建屋容積と電気出力の関係を整理すると、図5に示すように2種の傾向に分類される。その差の要因としては、軽水炉改良標準化での原子炉格納容器形状の変更などの機能面での改善によるもの、及び耐震設計の強化によるものなどが挙げられる。因みに電気出力1,100MW級のMARK-I型格納容器トラスの大径は、約6.2m大きくなっており、これによって原子炉棟内壁寸法が約7m増加している。また、耐震設計の強化により、建屋安定性の向上を目的として原子炉棟の周囲に付属棟を配した一体構造の複合建屋方式を採用しているが、強硬な耐震壁を直線的に配置するため無駄スペースを生じている。

耐震設計手法などについては、より信頼性の高い合理的な設計となるように種々の実証研究が精力的に行なわれているが、ここでは、建屋の基礎幅決定の因子となっている接地率評価手法がより改善されることを前提とし、現在の耐震性の高い原子炉複合建屋方式の建物形状と機器配置についての検討内容を示す。

図6は原子炉建屋容積低減の検討プロセスを示すものである。保守性に影響のある運転床のレイダウン面積を減じることなく、改良標準型格納容器の採用によって余裕の生じた原

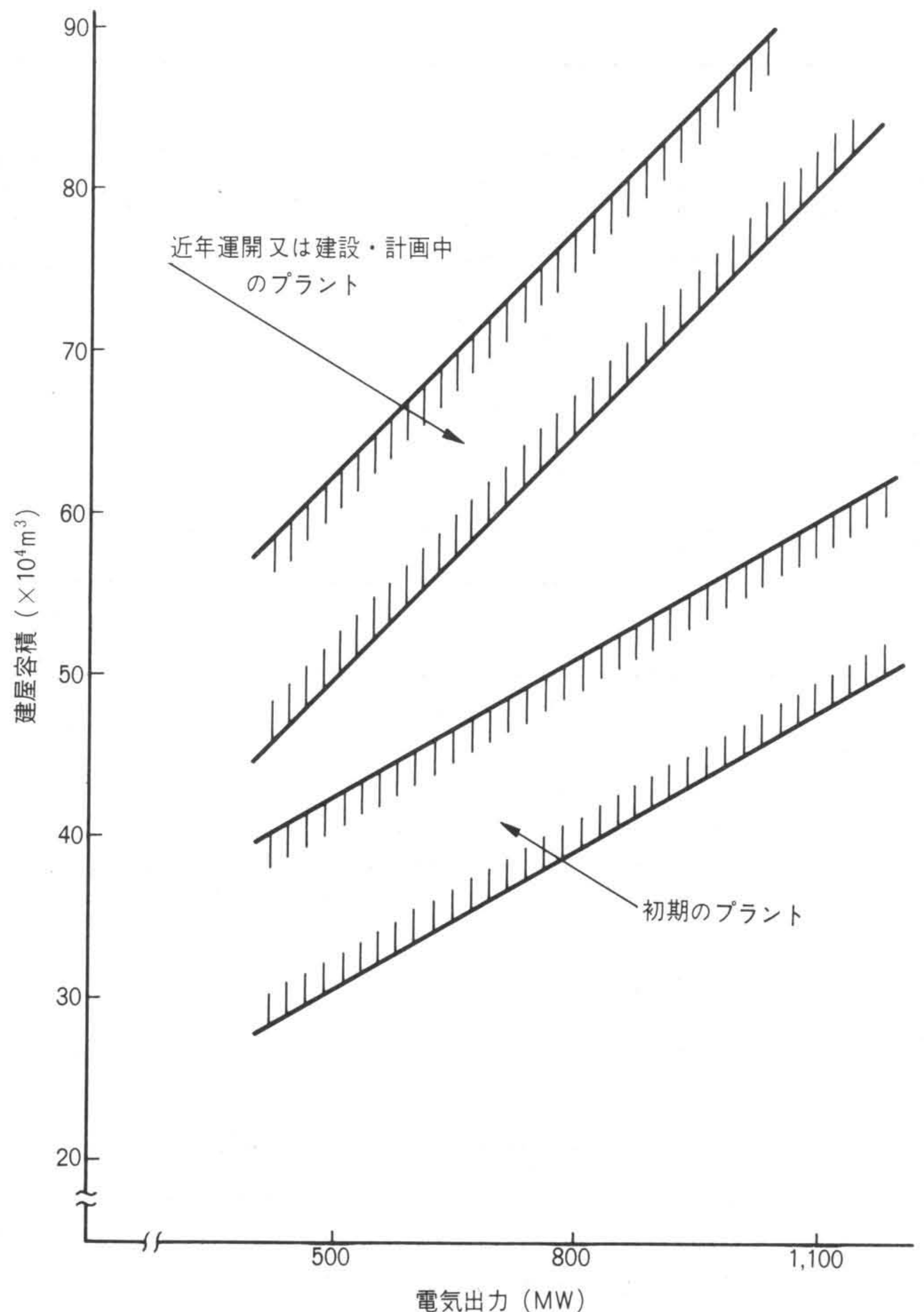


図5 建屋容積と電気出力(沸騰水型の例) 改良標準化による機能の向上、耐震設計条件の強化などの要因により、建屋容積が増大している。

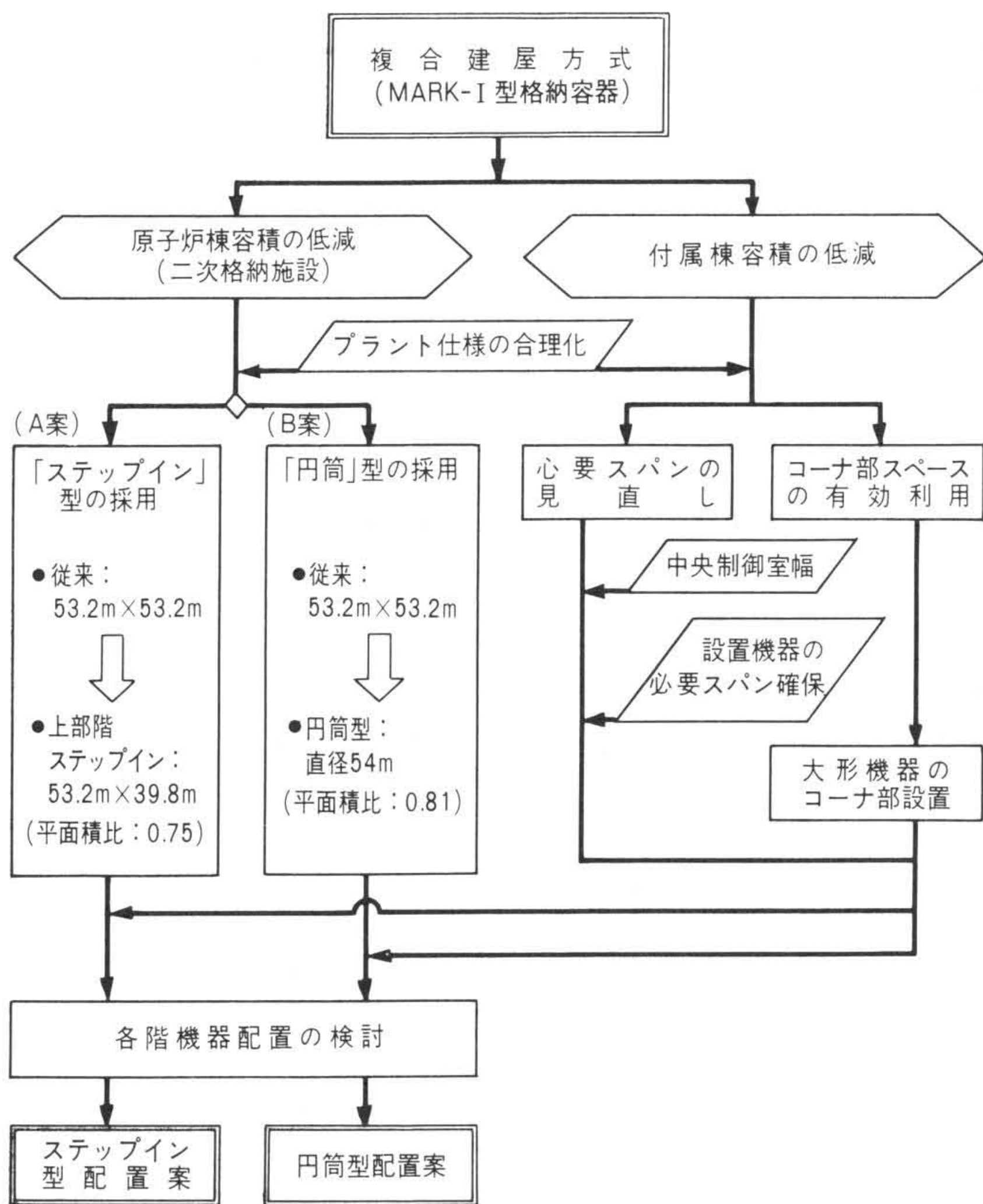


図6 建屋容積低減の検討プロセス 原子炉棟の容積低減には、ステップイン型、円筒型の2案が考えられる。

子炉棟の容積を低減する手法として、原子炉棟の一部を非管理区域として有効活用するステップイン型と、原子炉棟を円筒型とする案が考えられる。また、付属棟については、従来の井げた状の耐震壁を多少変更してコーナ部に大形機器を配置する対策と、必要スパンの最小化が有効である。

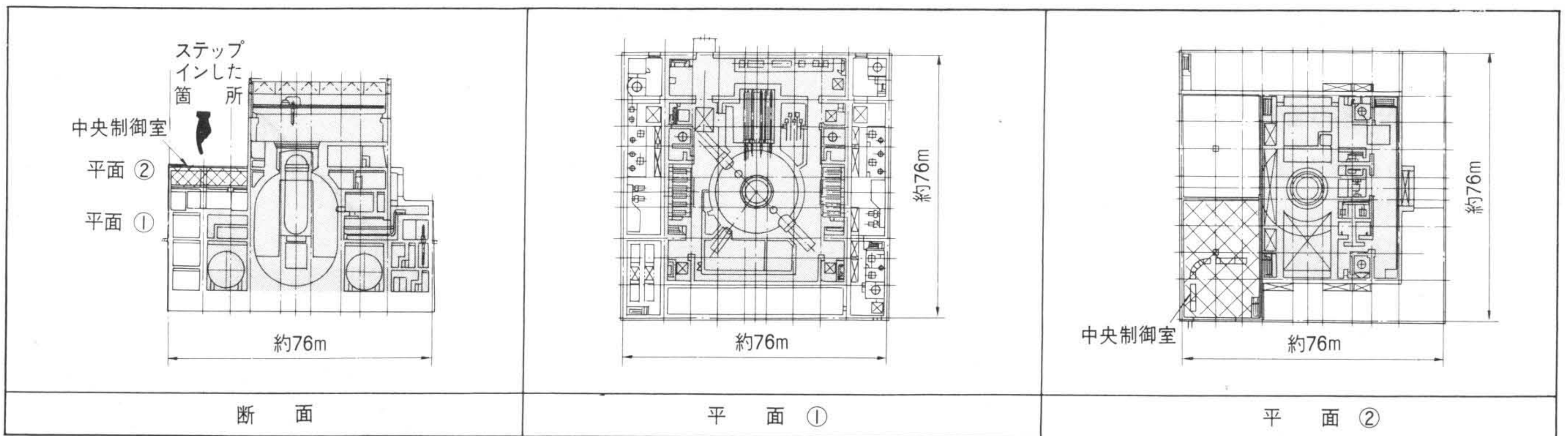
上記の考えを基に検討された配置案を図7に示す。共にユニット間で隣接する中央制御室には広いスペースが与えられ、非常用ディーゼルのような大形機器の配置に合わせた耐震壁配置を特徴としている。これらの配置方式の採用とプラント仕様の合理化により、原子炉建屋の容積は大幅な低減が可能となっている。

5 結 言

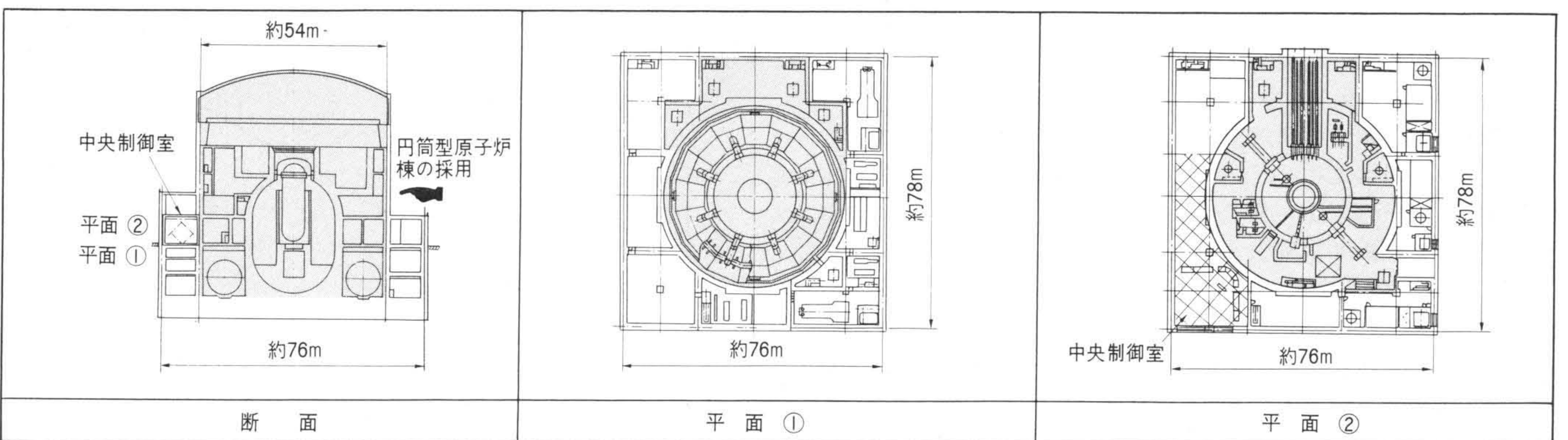
今後数十年にわたり電力供給の柱となる軽水炉型原子力発電プラントの合理化という重要な課題に対し、特に建設工法・建物・配置というプラント総合計画の観点からの考察と将来の展望を試みた。この分野では、原子力、電気、機械技術だけでなく、建築・土木技術などの幅広い技術者が総力を結集し、相互に協調することによって、よりいっそうの合理化が達成されると確信する。ここに提案した改善策はそのわずかな一部であろうが、具体化にはサイトの条件などを反映し、詳細な検討・評価を必要とするものであり、今後関係者の指導を得て、この難解な課題に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 江頭、外：原子力発電プラント建設工程の短縮及び管理、日立評論、64、8、599～604 (昭57-8)



(a) ステップイン型配置案



(b) 円筒型配置案

■部分は、二次格納施設の範囲を示す。

図7 合理化プラント原子炉建屋配置案(MARK-I型原子炉格納容器、電気出力1,100MW級) ステップイン部及び円筒型ではコーナ部に広い中央制御室を配置し、非常用ディーゼルのような大形機器に合わせた耐震壁配置で無駄空間を排除している。