

DENKEN REVIEW

電研レビュー

独創研究の紹介



no.16 1987.3

電研レビュー 第16号 ● 目次
独創研究の紹介

巻頭言——日本原子力発電株式会社 取締役副社長 田中 好雄…	2
はじめに———————専務理事 沼田 郁夫…	5
1. 電研式野菜工場の開発……………	6
——深夜電力の需要を拡大——	
2. 加圧噴流床石炭ガス化炉の開発……………	13
——世界初の方式による発電用石炭ガス化炉——	
(以上が理事長表彰を受けたもの)	
3. 原子炉配管の破断前漏洩(LBB)に関する解析手法の開発……………	27
——原子力発電所の設計合理化——	
4. 新型の深部地圧計測器の開発……………	32
——立地調査のコストダウン——	
5. 波浪による地形変化の新しい解析手法の開発……………	38
——環境調査の新技术——	
6. 大容量電力機器用合成短絡試験設備による新試験法の提案……………	43
——電力系統の拡充に対応——	
7. プログラム自動作成システムSPACEの開発……………	48
——プログラマー不足を解消——	
(以上が各研究所長の表彰を受けたもの)	
関連する主な研究報告書等……………	56

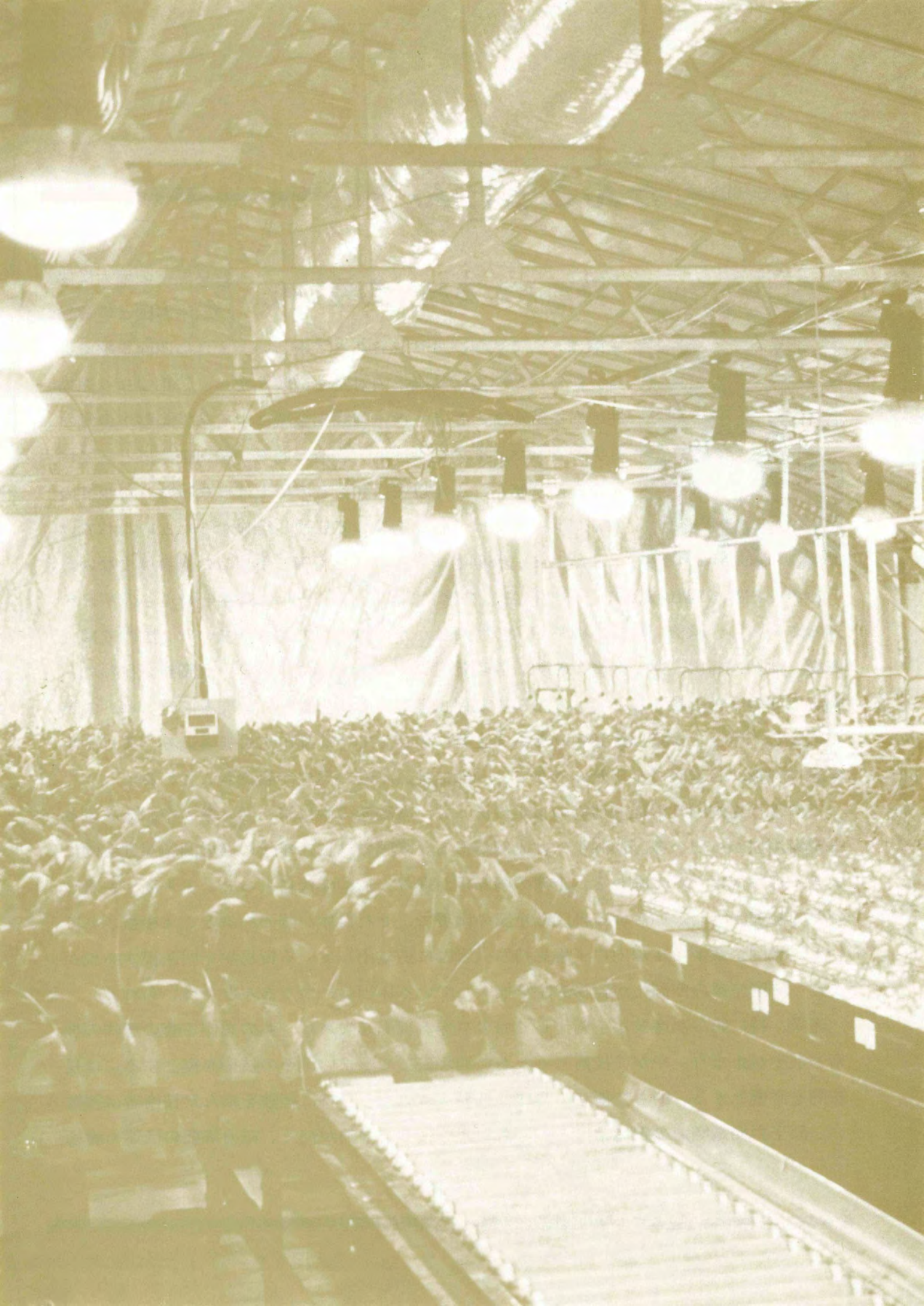
電研式野菜工場の内部▶

深夜電力を冷暖房に活用し、太陽光と人工照明を併用している。また、内部の温度、照明、培養液濃度などはコンピュータにより完全に制御されている。この結果、ハウレンソウでは畑栽培に比べ、6倍以上の収穫をあげている。

表紙の言葉●「知恵の輪」

知恵の輪は、はずれそうで、なかなかはずれず、少し視点を変えると、意外と簡単に解けたりします。

ほんの少しばかり、自分の常識をこわしてみる勇気が必要です。だから知恵の輪は、独創性へのトレーニング、その第1歩です。





懸念される技術の空洞化

貿易黒字の増大に伴い欧米諸国との貿易

摩擦は、ここ数年に亘り年を追って厳しい。まさに四面楚歌である。数年に及ぶ欧米諸国との対話も交渉も空しく、止むなく速効性のある解決法として、5ヶ国蔵相会議による為替調整が合意され実行された。その結果円高が急速に進み、輸出企業にとってはまことに苛酷な、1年以内に40%もの切上げとなった。かつてのオイルショックは、誰ひとりして見通し得なかったといわれている。そして、今回もまた円高幅を適確に予想した識者は少ない。

急激な円高で輸出産業には国内の生産を縮小して、海外に生産根拠を移すものが日を追って増大し、電機、自動車産業ですら、海外からの輸入が考慮されている。国内では、鉄鋼、造船、石炭、非鉄金属、船舶、等基幹産業や大型産業において生産調整が行われ、輸出指向の中小企業を含めて、大巾な操業停止等事業の縮小や更には廃業も行われ、失業が拡大している。失業は企業のみならず企業に依存している都市をも巻き込み、また中高年層は勿論、若年層にまで及んできて、一部に社会不安の発生が懸念されている。

このような国内外の経済情勢のなかにあって、有識者の中に第二次産業の空洞化を恐れる意見が広がっている。空洞化には先例がある。米国では1970年代に環境問題が社会的に大きく採りあげられた頃から、企業の国際化が進み、1980年代に入って、ドル高が定着したため加速された。いわゆる多国籍企業の出現で、それ自体が国であるとさえ極言されている。米国企業が日本国内に工場を持ち、米国に逆輸出している貿易額を問題視する説があり、米国産業の空洞化が貿易赤字を拡大している原因の一つであるとさえいわれる。

産業、特に第二次産業が空洞化してものを作る現場を失えば、ものを作る真の意味の技術も進歩が止まり、やがて技術者とともに消え去ってしまい、その技術を復活するには長時間を必要とする。即ち技術者の育成には長年月を要し、特に経験を積んだ技術者は得難い。原子力発電関連の製造業にとっても、当分厳しい情勢が続く。電力需要の低迷も考慮

に入れて、国内の発注は年に1～2基に過ぎない。いかに空洞化を防ぐかが大きな課題である。

米国は現在2つの赤字、即ち財政と貿易のかつてない尨大な赤字に悩まされている。そして産業に空洞化がみられ、失業率も高い。しかしながら一方において、産業の根幹となる研究開発は、先端技術を含めて独自性に富んだ種のもものが数多く行われ、産業への応用も活発である。

我が国はこの面でも遅れをとってはならないが、残念ながらオリジナリティのあるものが少なく、その遅れは覆うべくもない。原子力の分野に限ってみれば、米国や一部欧州で開発され、その実現が確められてからの後追いとの評価には耐え得ない。オリジナリティの発掘が如何に難しいかということに尽きる。

しかしながら将来の日本は、独自にオリジナリティの発掘から始めて産業への応用まで、一貫して技術の開発を実施して行かねばならなくなっている。従来のように、海外からの技術導入に安易に頼り得ない現状と認識される。米国は最近政府の経済政策閣僚会議で知的所有権保護強化政策を承認したが、この政策は政府や公的機関の技術情報も、従来特許や著作権がそれぞれの法によって保護されていると同様に保護し、国外流出を防ぐことが目的とされている。

これによって米国の政府研究機関との研究開発成果の交流や、成果の情報の入手が制限されることになる。このような政策の承認もあって、日本の研究者、技術者は従来に増して独自性のあるユニークな研究テーマの追求とその開発が緊要となる。

電力中央研究所はわが国電力会社の研究開発の中核的存在にあり、その研究は基盤的研究開発から目的指向型の研究開発まで多方面に及んでいる。その開発に当っては、長年月にわたり倦まず弛まず努力を重ねておられるが、最近の国情をふまえて益々の御精励を期待してやまない。

日本原子力発電株式会社 取締役副社長

田中好雄

〔電力中央研究所 参与〕

本号の掲載研究の一覧

1. 「電研式野菜工場の開発」

◎深夜電力の有効利用と太陽光および人工光の併用により、高効率で経済的な野菜の生産システムを確立し、次の成果を得た。(1)太陽光と人工光の併用により、全人工光型の野菜工場では困難であった品種の栽培が容易になり、また生産費に占める光熱費の割合も低減できた。(2)深夜電力を活用した冷房により、従来困難とされていた夏季のハウレンソウ栽培の高効率生産に成功した。(3)サラダナ、ハウレンソウ、イチゴを組合せ年間を通じて栽培することにより、効率の高い野菜栽培を可能にするとともに、深夜電力を主とする1000㎡あたり年間46万 kWh の電力需要を開拓する道を拓いた。

●我孫子研究所 生物部 農業技術研究室長・関山 哲雄、農業技術研究室・岡野 利明

2. 「加圧噴流床石炭ガス化炉の開発」

◎多くの炭種のガス化に適用できる世界初の加圧2室2段噴流床ガス化炉を開発し、内外から高い評価を受けた。この成果は、NEDO・電力10社・当所が中心となって発足させた大型プロジェクト「噴流床石炭ガス化発電開発計画」パイロットプラントのガス化炉方式として採用されている(三菱重工業(株)と共同研究を推進)。

●横須賀研究所 エネルギー部長・石川 浩、石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム総括リーダー補佐・鈴木 治朗、横須賀研究所 エネルギー部 複合発電研究室長・浜松 照秀、複合発電研究室・阿部 俊夫

(以上が理事長表彰を受けたもの)

3. 「原子炉配管の破断前漏洩(LBB)に関する解析手法の開発」…………… 狛江研究所

◎原子炉のステンレス鋼配管に万一内部亀裂が発生した場合の、複雑な亀裂の拡大過程を解析する手法を開発し、いかなる場合にも破断前には配管壁の亀裂からの冷却材の漏洩があることを立証した。これにより、事前の冷却材漏洩検知により運転上の安全管理ができ、振れ止め防止装置の削減ならびに設計合理化が図れることを明らかにした。昭和60年度日本機械学会奨励賞受賞。

●原子力部 材料研究室・鹿島 光一、同・高橋 由起夫

4. 「新型の深部地圧計測器の開発」…………… 我孫子研究所

◎地下式水力発電所の建設などのため、地下深部に岩盤空洞を掘削する際には、地圧の大きさや方向を考慮した設計・施工が必要である。このため、地圧測定精度の向上、期間の短縮ならびにコストの低減を図る基礎的な研究を行い、小口径のボーリング1本により、同時に8方向の地圧を計測し得る「新型地圧計測器」の開発に成功した。

●立地部 地盤研究室・金川 忠

5. 「波浪による地形変化の新しい解析手法の開発」…………… 我孫子研究所

◎原子力・火力発電所を外海に面して建設する場合の、取放水設備や港湾を設計・建設するために有効な、波浪変形現象の新しい数値モデルによるシミュレーション解析手法を開発した。これにより海岸構造物構築後の海岸変形を高精度で予測することが可能となった。

●水理部 環境水理研究室・丸山 康樹

6. 「大容量電力機器用合成短絡試験設備による新試験法の提案」…………… 横須賀研究所

◎電力システムの拡充に伴い制動保護の要である遮断器、開閉器には従来にない多様な性能が要求されている。この性能を事前に確認するためには、高精度で信頼性の高い検証試験が必要である。このため、大電流遮断に関する経験をもとに、大容量の合成短絡試験設備を用いて、ほとんどすべての超高压大容量遮断器の短絡試験を可能にする新試験法を開発し、世界最大級のガス遮断器の検証試験などに成功した。

●電力部 大電流研究室・葛間 泰邦

7. 「プログラム自動作成システム SPACE の開発」…………… 経済研究所

◎コンピュータプログラムの開発には多くの作業量が費されるが、その要員は非常に不足しているのが実情である。この問題を解決するため、従来の半分以下の作業量でプログラムを開発する方式を開発した。この方式を使えば、事務処理プログラムのほとんどが、従来の約40%の作業量で作成できる。

●情報システム部 知識処理研究室・原田 実

(以上が各研究所長の表彰を受けたもの)

はじめに

専務理事 沼田 郁夫



わが国の経済は、技術革新、情報化と国際化の進展、さらには急激な円高などによって、大きく変わりつつあります。

そして、各産業や企業は、業種の垣根を越えて、その生存をかけた厳しい競争を続けております。

このような競争社会の中で、産業や企業が将来にわたって発展していく途は、独創的な技術開発をおいて他にありません。

電気事業についても、事情は全く同様だと考えます。

このような時代の要請に応えるために、当研究所は、電気事業の総合的な研究機関としての使命に立って、総力を結集し、極力、必要な課題を先取りして、その研究に取り組んでおります。

本号は、最近の研究成果の中から、特に独創性に富み、かつ電気事業の運営に大きく寄与できると認めたものについて、その内容を紹介させていただきました。

1. 電研式野菜工場の開発

—— 深夜電力の需要を拡大 ——

我孫子研究所 生物部 農業技術研究室長 関山 哲雄 / 農業技術研究室 岡野 利明

1-1 研究の目的

わが国の農業は、その従事者や農地の減少、輸入問題など困難な問題に直面しており、安定かつローコストの食糧生産技術の確立のが望まれている。一方、電気事業にとっては、深夜電力などを有効に利用した新しい需要開拓による設備利用率の向上が、供給コスト低減のための重要な課題となっている。

このような状況のなかで、これまでに培った施設園芸関連研究の成果を集大成して、深夜電力の有効利用と自然光と人工光の併用を特徴とする工業的な生産方式の開発を行い、施設農業の発展、高品質な野菜類の安定供給に寄与するとともに、新しい電力需要の開拓を図る。

1-2 研究の計画

1984年10月より3段階にわけて開発計画を進めており、1988年3月にはハウレンソウなど葉菜類を対象とする野菜



野菜工場の内部

工場を、1989年3月には葉菜類のほかイチゴなど果菜類を対象とした野菜工場の実用化をめざしている。

1. 第1フェーズ(1984～1986年、我孫子研究所)

基礎実験設備(1985年4月設置、340㎡)において、

- ① 品種の選定
- ② 環境調節技術
- ③ 育苗・栽培技術

に関する諸実験を行い、太陽光、人工光併用型の問題点の抽出と対策について検討する。

2. 第2フェーズ(1986～1987、赤城試験センター)

作物管理実験設備(1986年5月設置、420㎡)において、

- ① 作物管理の省力化
- ② 栽植密度の最適化による増収
- ③ 設備費の低減対策

に関する諸実験を行い、実用化の可能性について検討する。

3. 第3フェーズ(1987、赤城試験センター)

総合実証実験設備(1987年3月設置予定、1000㎡)において、

- ① 実規模における経済性の検証
 - ② 普及のための具体的方策
- について検討する。

1-3 研究の成果

I. 開発中の野菜工場の特徴と設備概要

1. 光、温度、炭酸ガス濃度、培養液濃度などの諸環境条件を主として深夜電力利用により適正値に自動調節し、生

育促進・高品質化と空調コストの低減を図っている。

① 栽培室の構造は自然光と人工光の併用を可能にするためプラスチックカーテンの操作(透過率の異なる3枚のプラスチックカーテンを日射量の強さによって選択的に展開し、作物の生育促進と暖冷房負荷の軽減を図る)により断熱・遮光と採光のコントロールを行っている(図1-1)。

② 自然光と人工光の併用により、葉菜類だけでなく果菜類の栽培もでき、収益性の高い作物のリレー栽培が可能である。

③ 断熱性に優れ、かつ自然光のコントロールが容易にできる構造の採用により、空調コストの低減を図っている。

④ 冷房のための氷蓄熱には深夜11時から朝7時にかけての深夜電力を用い、安価な契約料金(13~15円/kWh)を可能にして光熱費の軽減を図っている(図1-2)。

⑤ 暖房は製氷の際の排熱、電照による放射熱および太陽熱利用により行っている。

2. 栽培室床面積の有効利用と作物管理労力の節減を図っている。

① 作物の生育にあわせて、株間とうね間を調整(スペーシング)できる構造にしており、栽培面積の有効利用を図っている(図1-3)。

② ローラコンベアを用いた移動栽培装置を採用することにより作業者が植付け、スペーシング、収穫などの作業を定位置で行える。

3. 栽培室の空調による高气密性と培養液の殺菌により無農薬栽培を可能にしている。また、培養液の濃度、pH調整を行いその再生利用を図っている。

電研式野菜工場実験設備の概要は次のとおりである。

- ① 栽培室：床面積230㎡の鉄骨ガラス温室
- ② 保温・遮光方式：日射透過率の異なる素材を用いた3層カーテン
- ③ 育苗・管理棟：床面積190㎡簡易プレハブ構造
- ④ 育苗室：床面積46㎡、3段の育苗棚
- ⑤ 空調設備：冷凍機 15 kW×2台
氷蓄熱槽容量 9.5トン

温水槽容量 8トン

水膜式熱交換器、栽培室3台

育苗室1台

⑥ 栽培室電照：メタルハライドランプ 400W×40灯

⑦ 育苗室電照：高出力白色ケイ光灯 110W×76灯

⑧ 栽培装置：トレイ移動用ローラコンベア 4列(1列18m)

トレイ(80×200cm) 92台

⑨ 計測・制御装置：野菜工場用コンピュータ、センサー類一式

Ⅱ. 栽培実験の成果

本施設の特徴を活かした代表的な作付として、サラダナ(1~4月)、ホウレンソウ(5~8月)、イチゴ(9~12月)のリレー栽培を考え、そのテスト栽培を実施中であるが、現在までに得られた研究成果は以下のとおりである。

1. ホウレンソウに関しては代表的な品種6種の栽培試験を行い、ピロフレイ、ノーベル、丸粒ミンスターランドで約10kg/㎡(8月、定植後26日)の収量が得られ、一般の栽培方法に比べ収量は約6倍、栽培所要期間は1/2から1/3に短縮できた(図1-4)。

2. 栽培室の空調により換気を行う必要がない特徴を活かし、炭酸ガス施用の効果について実験した。

丸粒ミンスターランド、バイキングにおいて30~40%の増収が得られたが、ピロフレイ、ノーベルでは効果がみられず、品種による差がみられた。

3. ホウレンソウの栽培期間は生育の速い品種(スパーク、リード、ユーパロ)では補光(12~16klx、8時間)により、定植後15~17日で収穫可能となり、定植後15日の新鮮重は補光しない場合の2~4倍に達した。

特に初期生育の促進に補光は効果的で、天候不良による生育の遅れを補う効果が期待できる。なお、補光によりすべての供試品種の体内に花芽は発生したが、定植後20日頃まで外見的には見られなく、品質の低下をもたらすことは

図1-1 電研式野菜工場実験設備(1986)

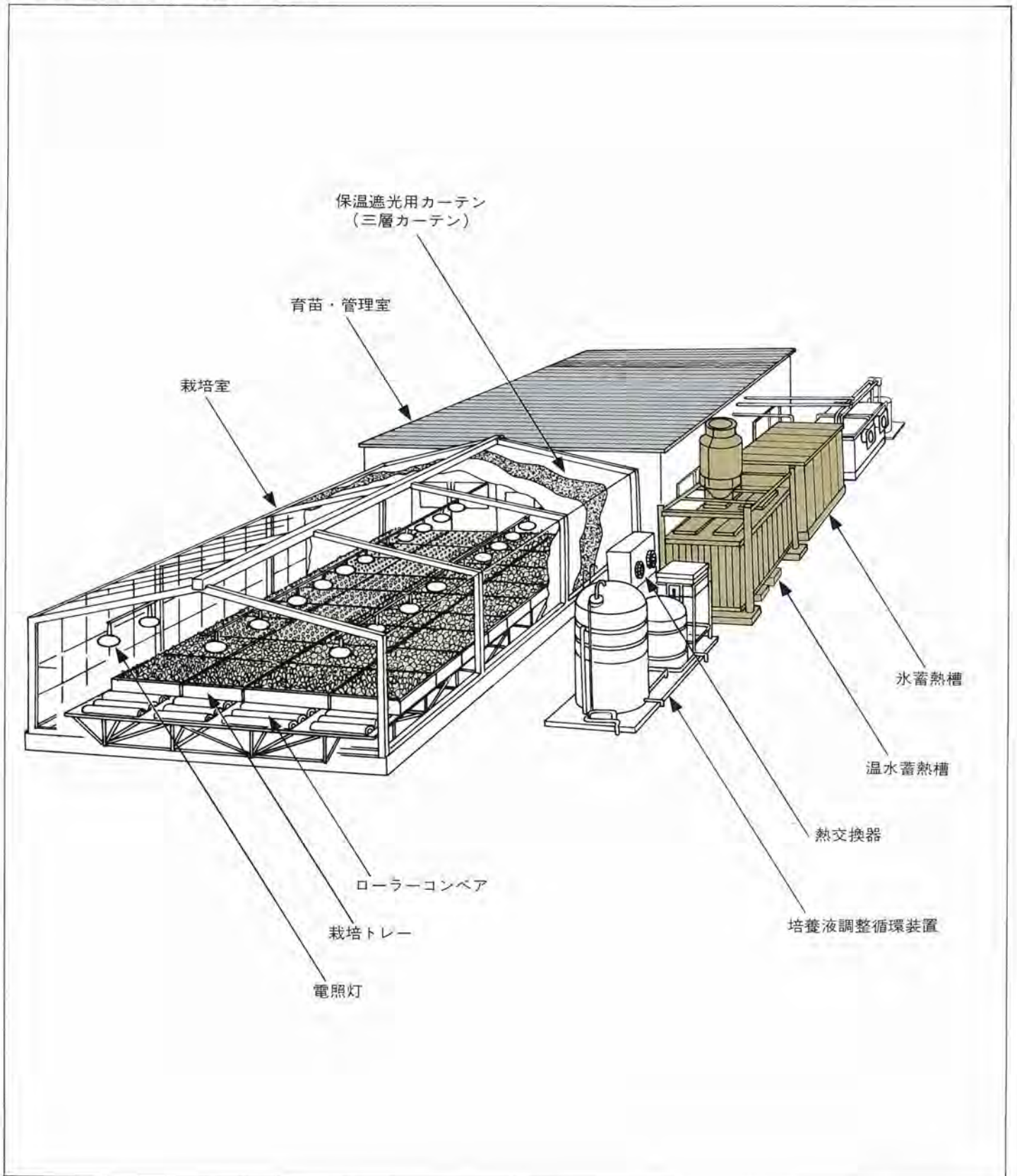


図1-2 電研式野菜工場実験設備の空調系統図

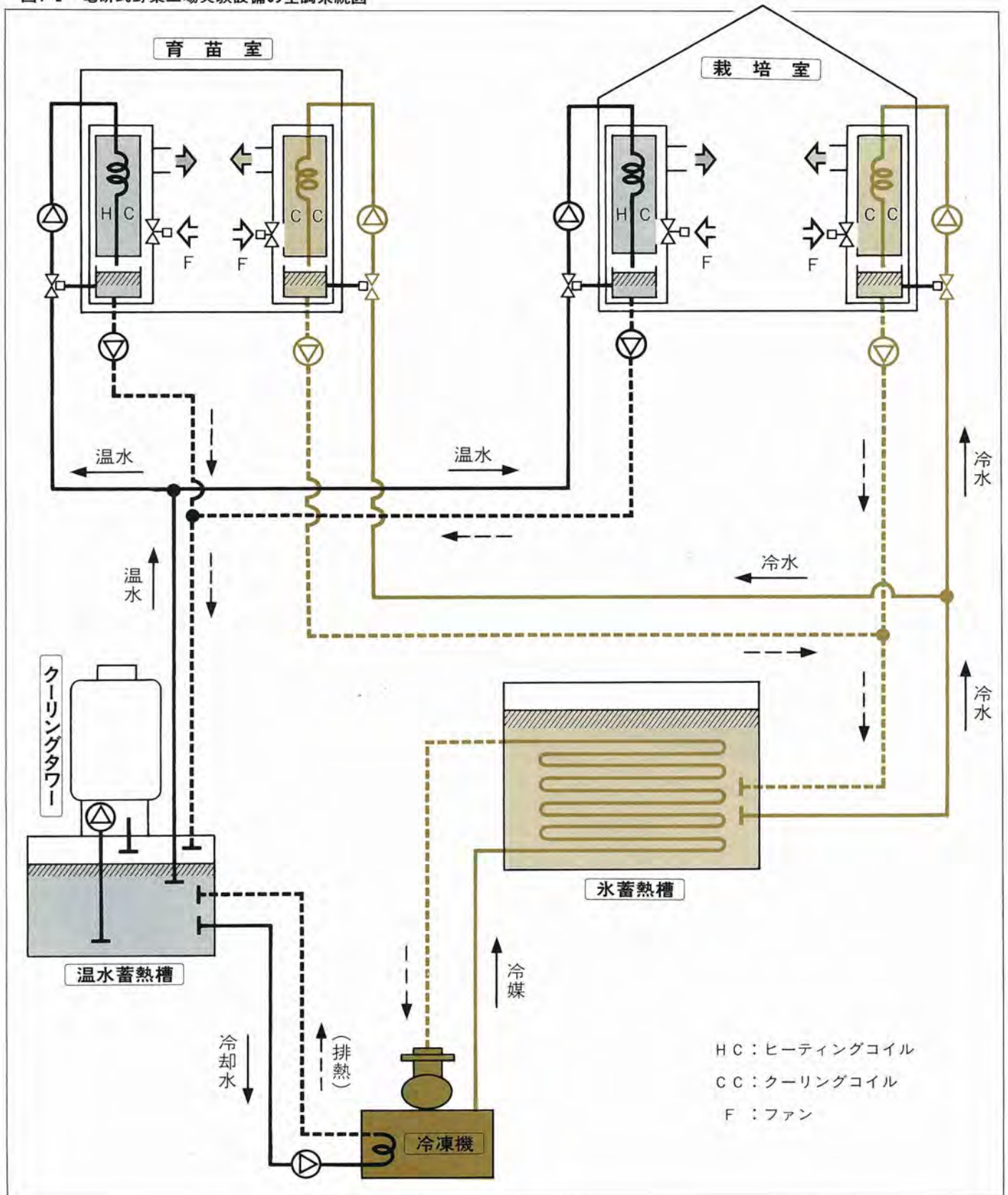


図1-3 サラダナの株間、うね間の調整方法

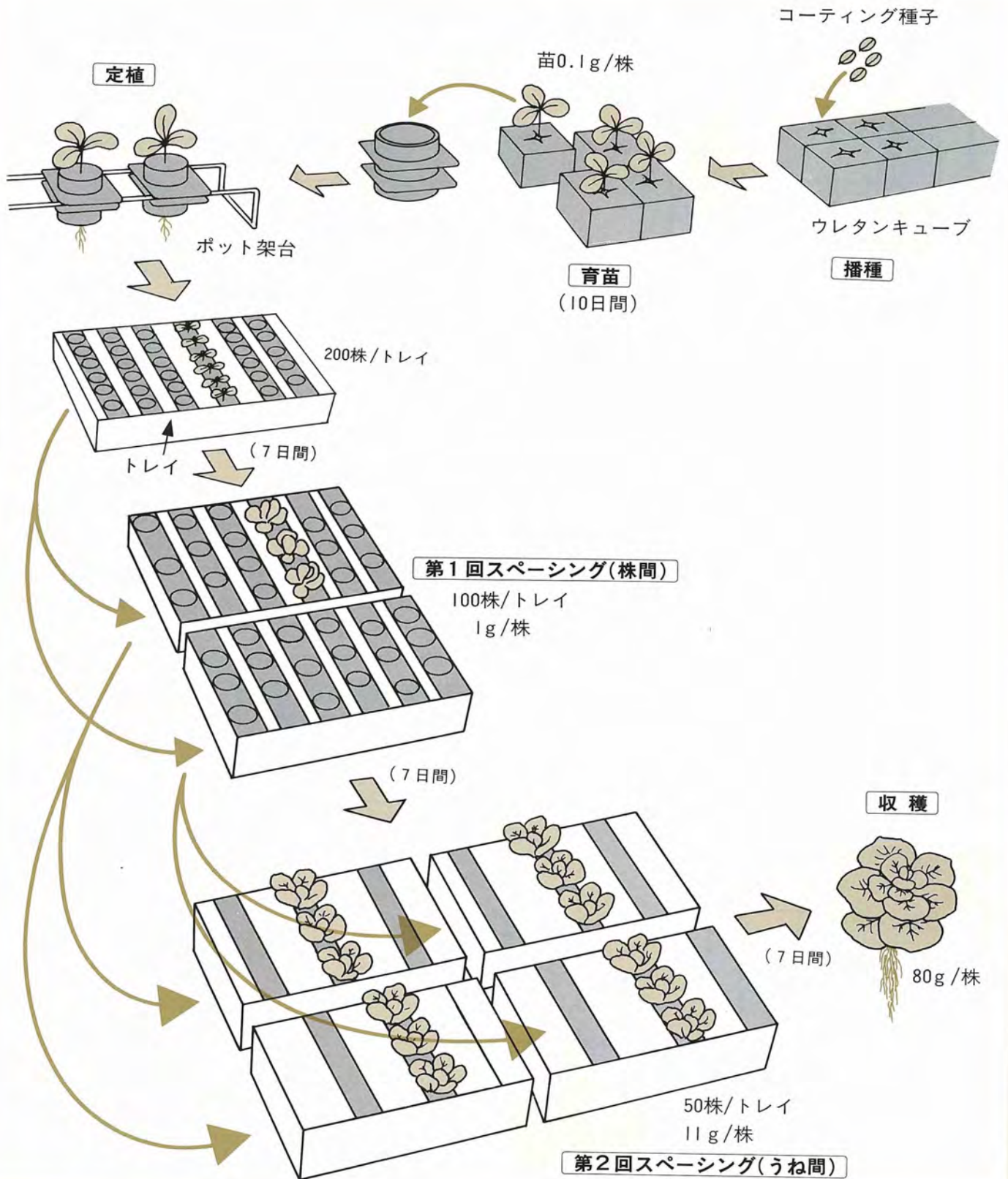
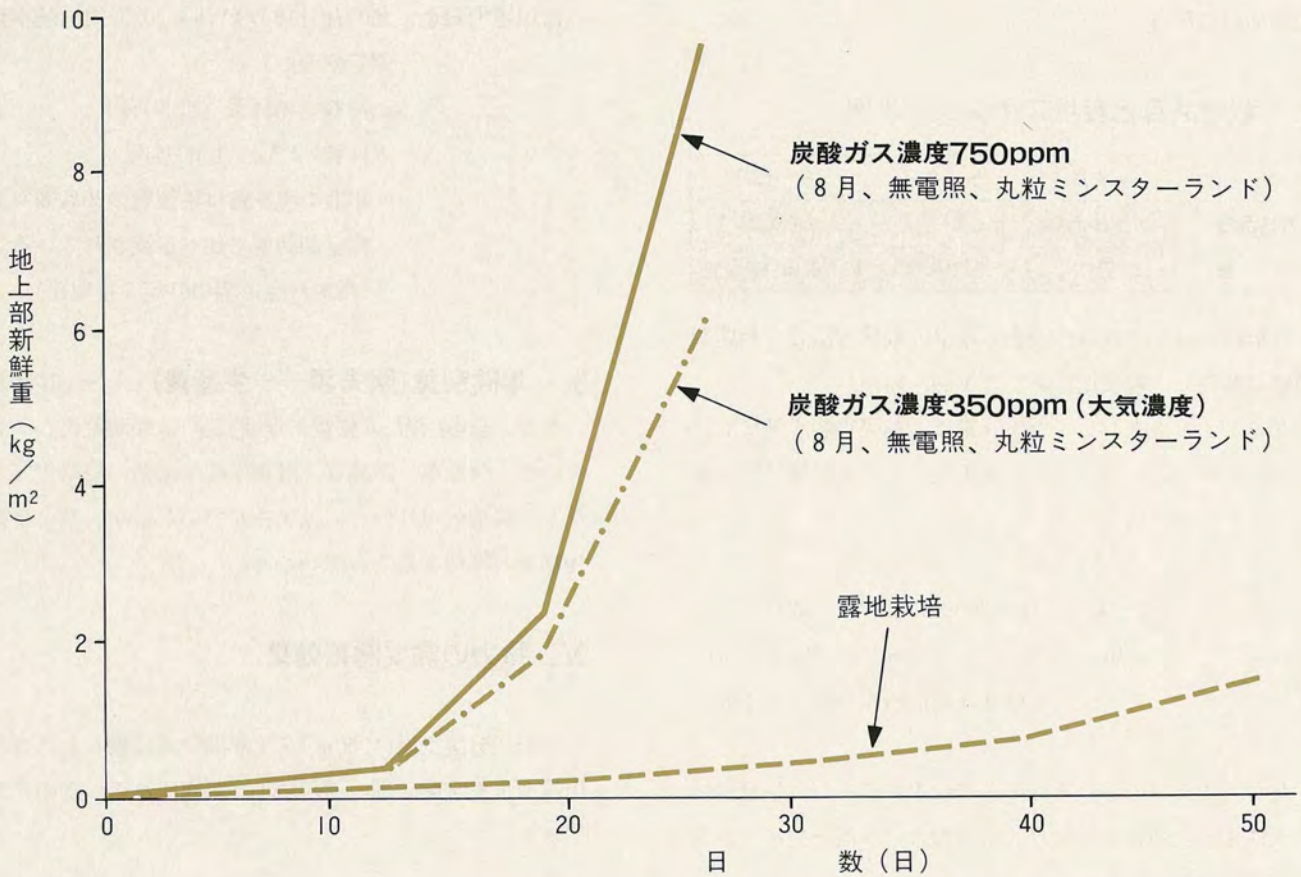


図1-4 ホウレンソウの生育・収量



なかった。

4. サラダナの収量は $4.6\text{kg}/\text{m}^2$ (定植後24日)で、人工光の併用と炭酸ガス施用などの効用により一般の栽培方法に比べ収量は約2倍、栽培所要期間は1/2となった。

5. 収穫したホウレンソウのビタミンC、 β カロチンのいずれも市販品、食品成分表の水準を満足しており、商品性、食感などの官能試験の結果も良好であった。

6. サラダナのビタミンC、含水率は食品成分表の水準を満たしていた。

7. 栽培室における電力の最大使用量は7～8月に終日採

光し、昼 25°C 、夜 20°C に調節する場合 $2.5\text{kWh}/\text{m}^2$ 日程度(電照なし)で、そのうち70%は深夜電力時間帯における氷蓄熱のために使用された。

1～2月に終日採光し、昼 23°C 、夜 18°C に調整する場合 $2.0\text{kWh}/\text{m}^2$ 日程度(電照実施)であった。

さらにカーテンの使用により、夏期の冷房負荷を約3割節減できることがわかった。

Ⅲ. 経済性の予測

1. 前提条件

設備規模： 1000m^2 (生産スペース 800m^2)

設備投資額：1億円($10\text{万円}/\text{m}^2$)

設備償却：10年(温室設備の標準的な耐用年数)

経営主体：2人

資金：自己資金10%、借入金90%

借入金利：5%（農林漁業金融公庫の貸し付け金利）

土地：自己保有

2. 栽培品目と栽培スケジュール例

	1～4月	5～8月	9～12月
栽培品種	サラダナ	ハウレンソウ	イチゴ
収量	32t(5作)	54.7t(6作)	9.6t(1作)

栽培時期はいずれの作物とも通常の栽培方法では栽培が困難な時期で、端境期にあたり単価が高い。

サラダナとハウレンソウの収量は、基礎実験設備における単位面積収量に基づき、実用規模における収量見込みを次のように試算している。

サラダナ： $4.2\text{kg}/\text{m}^2 \times 5\text{作} \times 800\text{m}^2 \times 1.9\text{倍} = 32\text{t}$

ハウレンソウ： $6.0\text{kg}/\text{m}^2 \times 6\text{作} \times 800\text{m}^2 \times 1.9\text{倍} = 54.7\text{t}$

* 移動式栽培法採用による増収率

なお、イチゴについては現在実験中であるが、生育環境の適性化と密植栽培により通常の場合の3倍を見込み、次のように試算している。

イチゴ： $4.0\text{kg}/\text{m}^2 \times 800\text{m}^2 \times 3 = 9.6\text{t}$

3. 販売額(年間粗収入) ————— 5420万円

サラダナ 1600万円

(1～4月の卸売価格の底値500/kg)

ハウレンソウ 2188万円

(5～8月の卸売価格の底値400/kg)

イチゴ 1632万円

(9～12月の卸売価格の底値1700/kg)

生産者価格のかわりにそれぞれの栽培予定期間の卸売価格の底値を使用した。

4. 生産費 ————— 4370万円

設備減価償却費 1000万円

借入金利息 450万円

電気代 820万円*

深夜電力料金 430万円(27万 kWh×15.93円、基本料金、電気税含む)

常用電力料金 390万円(19万 kWh×20.53円、基本料金、電気税含む)

出荷費・諸経費 1100万円

人件費(2人) 1000万円

* 年間の光熱費は生産費の20%弱であり、完全制御型に比べ半減されている。

(電気料金は昭和61年5月現在)

5. 年間利益(販売額——生産費)——— 1050万円

なお、農業所得(人件費+年間利益)は2050万円となる。その他、無農薬、高品質、計画生産・出荷、規格化できるなどの経済効果については見込んでいないが、かなりの付加効果が期待できると思われる。

IV. 電力の需要開拓効果

電研式野菜工場(1000m²)を1年間フル稼働したときの使用電力量を実験設備の実績値より試算するとつぎのとおりである。

深夜電力対象分 27万 kWh/年・1000m²

一般分(電照、動力) 19万 kWh/年・1000m²

合計 46万 kWh/年・1000m²

なお、各々の時期のサラダナ、ハウレンソウ、イチゴのわが国における全生産量をこの野菜工場で生産するものと仮定すると、約60億 kWh/年の需要量の増加が見込まれる。

1-4 今後の計画

電研式野菜工場の実用化にむけて、実規模の実験設備を当所赤城試験センター内に1987年3月までに設置し、設備費の低減対策、栽培作物の拡張、人工知能を適用した環境調節技術の開発、さらに地域エネルギーの有効利用、地域振興対策としての適用研究を推進し、幅広い実用化を図る。 ●

2. 加圧噴流床石炭ガス化炉の開発

—— 世界初の方式による発電用石炭ガス化炉 ——

横須賀研究所 エネルギー部長 石川 浩

石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム 総括リーダー補佐 鈴木 治朗

横須賀研究所 エネルギー部 複合発電研究室長 浜松 照秀 / 複合発電研究室 阿部 俊夫

2-1 研究の背景

資源の乏しいわが国において、エネルギーの確保ならびに高度にこれを活用する技術の開発は最も重要である。二度にわたる石油危機を契機に燃料の多様化、新・省エネルギー技術の開発が強力に推進されてきている。

これらの一環として近年は、石油に代わる化石燃料である石炭の利用拡大が図られつつある。石油価格情勢は現在軟調気味であるものの、長期的視点からは、燃料費のエスカレーション、石油供給の不安定性は避けられないと考えられる。

かかる状況に鑑み、電気事業として供給力の質的強化を図る上で、石炭利用の一層の拡大が重要であり、将来の石炭大量導入時代に備える技術を開発しておくことは当所の責務である。

現在、電力用一般炭は年間2300万トンを超えているが、将来の大量の石炭利用による発電に対しては、環境保全性に優れ、格段の高効率発電が可能な石炭ガス化複合発電技術の実用化が効果的であり、次期火力発電技術として期待されている。

石炭ガス化複合発電プラントは、石炭ガス化炉、ガス精製(クリーンアップ)プラント、ガスタービン、ボトムリングサイクルとしての蒸気系から成っている。図2-1はプラント構成の模式図である。

このプラントは、固体燃料である石炭を、灰を取り出しながらガス燃料に改質し、ガスタービンに使えるようにしたもので、中核となる優れた石炭ガス化炉が必要である。すなわち、ガス化炉の成否が本発電方式の成立性を左右する。

ここで、石炭ガス化炉とはどんなものかを把んでおきた

い。図2-2に示すように、ある容器の中に石炭と空気または酸素を入れて、かつ酸素不足の状態では燃焼させると、一酸化炭素、二酸化炭素、水素などが発生する。ただし、これと同時に石炭に10%前後含まれる灰をとり出してやる必要がある。

ガス化炉の出入りで見ると、入ってくるのは石炭、空気(または酸素)、出ていくのは発生ガス、灰、そして放散熱(容器を所定温度に保つ水冷壁吸収熱)である。

このように単純な原理のシステムであるが、実際のハードウェア、装置として実現しようとすると、細かくみれば無数の方式に分かれる。

まず、投入される石炭が塊炭、粒炭、微粉炭のいずれか、灰は溶かされた状態(高温ガス化)か、融点以下の状態(低温ガス化)か、ガス化剤は空気か酸素か、炉壁は耐火材か水冷壁か、炉内は常圧か加圧か……など、基本事項だけでも多岐に分類される。

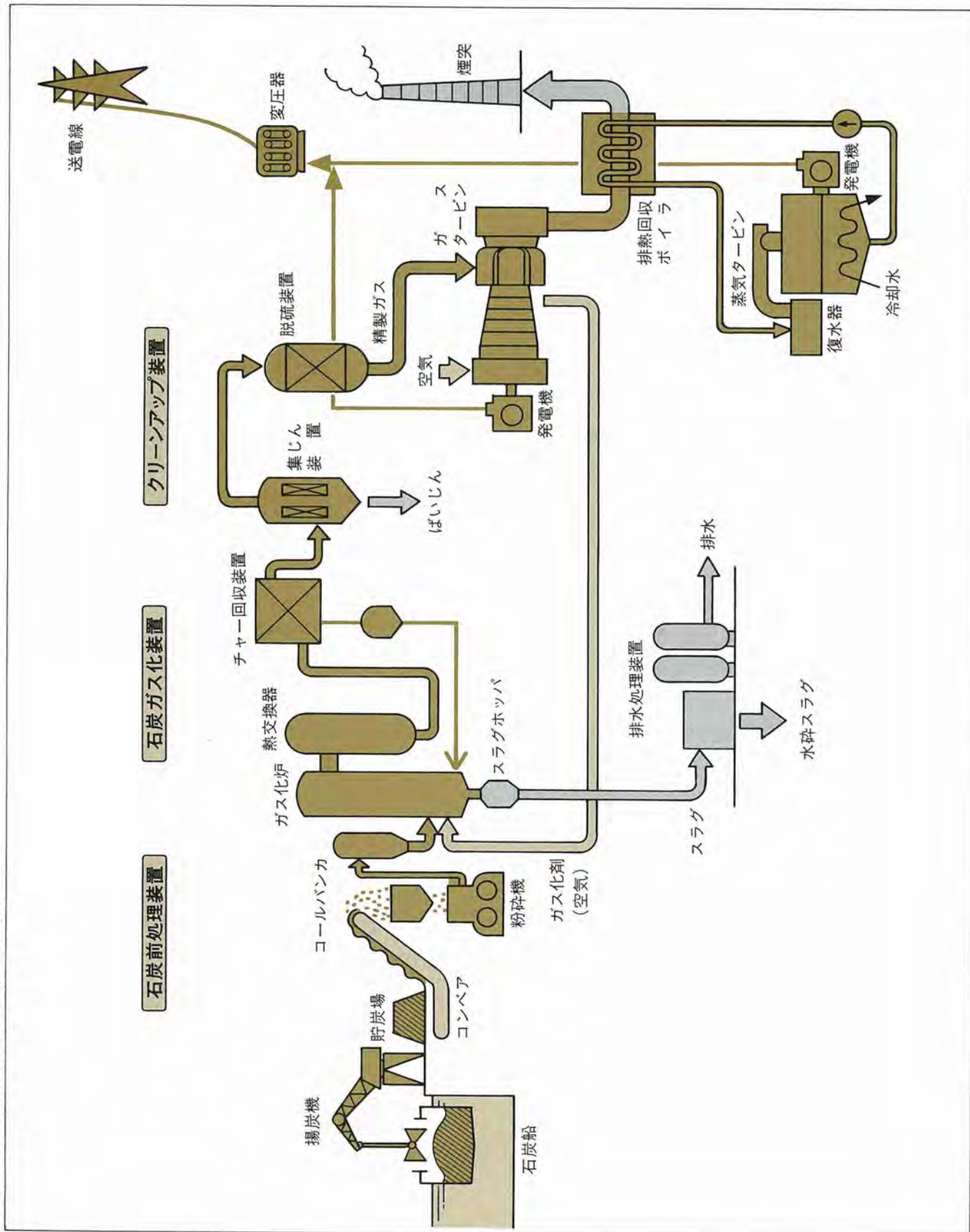
石炭ガス化炉技術の開発は50~60年もの長い歴史をもっているが、石炭利用率が低い、大型化が困難、適用炭種制限が強い、などの諸課題があり、その解決を目指して数多くの方式のガス化炉開発が進められている。

これらの多くは化学原料用ガスの製造、都市ガス製造用であるが、近年国内外において発電用ガス化炉の開発・実証に向けてのプロジェクトも進められている。

当所が東京電力(株)、(株)東芝、石川島播磨重工業(株)とともに参加している米国のEPRI(電力研究所)、サザンカルフォルニア・エジソン電力を中心とするクールウォータプログラムによる開発もその一つである。ここで用いられているガス化炉はテキサコ炉と称するものであるが、発電用とみたときは、一長一短をもっている。

このような状況において、主要プラントであるガス化炉

図2-1 石炭ガス化複合発電プラント構成図



をわが国の自主技術として開発・実用化することは、国家の体力ともいえるエネルギーのセキュリティを確保する上でも極めて重要といえる。

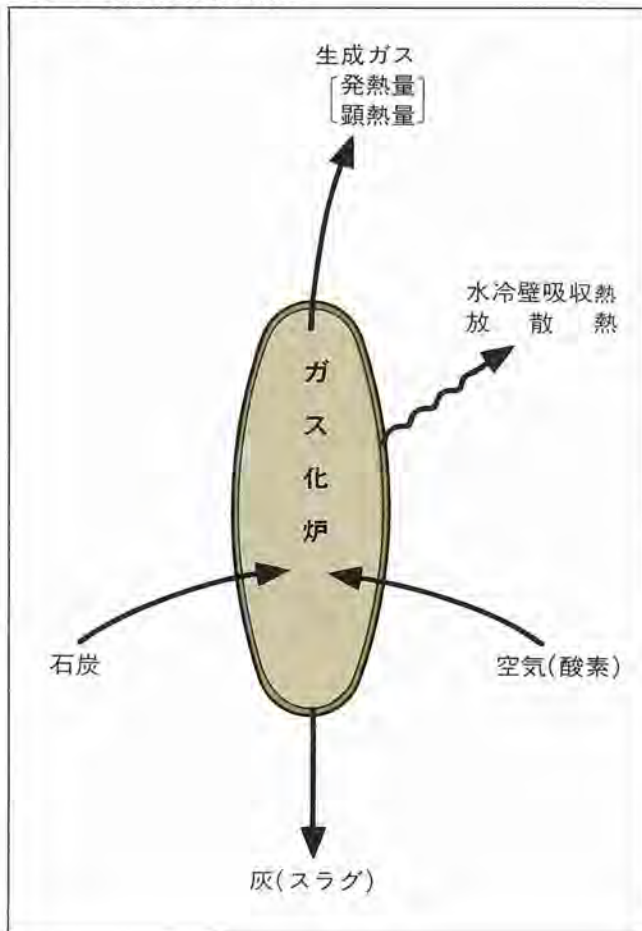
わが国の発電用石炭ガス化炉の要件としては、海外炭中心、大量導入、環境保全、電源としての運用を考えると、

1. 幅広い炭種適合性
2. 優れた環境保全性
3. プラント全体からみた高効率、大容量向
4. 優れた負荷応答性
5. 優れた経済性

などが挙げられる。

当所はこれらを念頭に、開発すべきガス化炉方式を設定し、噴流床方式、空気吹き主体、加圧方式、ドライフィード(微粉炭気流搬送)を基本として、世界初とも言える加圧2室2段噴流床ガス化炉の開発に着手した。

図2-2 石炭ガス化炉の原理



本研究の成果の詳細は既刊電研レビューNo.15('86)ならびに後述のとおりであるが、資源エネルギー庁、電気事業が推進計画を策定した200トン/日噴流床石炭ガス化発電開発計画(昭和61~67年度)では、当所のこれまでの研究開発成果が高い評価をうけ、ガス化炉方式として加圧2室2段噴流床ガス化炉が採用されることとなった。

当所では現在、この評価をうけて、パイロットプラントをより確かなものとするための研究、および将来の2000トン/日実証プラントをにらんだ実炉技術の開発研究を推進中である。

2-2 研究の目的

石炭ガス化炉の方式選定にあたっては、発電用として具備すべき事項を念頭に、これまでの技術を検討し、また国内メーカーの技術的現状等を考慮した。

ガス化炉開発の手順は、選定したガス化方式の基礎となる前例がない場合は、ガス化装置として全体の開発実験が可能な規模の設備が必要である。

このため当所は昭和56年12月、三菱重工業(株)と共同で、加圧2室2段噴流床方式の石炭ガス化基礎実験装置(石炭処理量100kg/h=通称2トン/日)の設計・建設ならびに試験研究に着手した。

本装置は昭和58年3月竣工し、試運転調整後、同7月より試験研究に入った。

石炭ガス化炉は、その長い歴史ゆえに基礎的な事項はそれなりに整理されているが、方式ごとに特性が異なり、炉内が加圧された燃焼の場であるだけに、実際のデータの積重ね、運転の経験が重要である。

表2-1に本研究のこれまでの展開を示す。昭和58~59年度は石炭ガス化炉の基本特性の把握、昭和60年度以降は実際のガス化炉に反映できる成果を目指して研究を行っている。

本研究の内容は極めて多岐にわたっているが、主な項目を以下にまとめる。

1. ガス化基本特性の把握(含運転技術)

2. 炭種適合性
3. 炉周辺機器の信頼性向上
4. 環境保全性
5. 大容量化技術

これらガス化炉の多くの要素に対し、それぞれ具体的な検討事項があり、詳細は既刊電研レビューNo.15を参照されたい。

2-3 研究の実施体制

昭和55年に石炭ガス化複合発電を当所の重点課題とし、56年12月に共同研究を開始して以来、本研究はプロジェクト的に推進されている。

共同研究相手の三菱重工業も石炭ガス化炉の開発に関しては流動床方式に経験を有するのみで、共同研究両者とも型式として初の加圧2室2段噴流床石炭ガス化炉が所期の機能、性能を有するか挑戦する意気込みであった。

研究体制は、石炭ガス化技術共同研究委員会を頭に、下部組織としてのワーキンググループをおき、火力発電に関する研究分野の陣容がこれにあっている。

一方、昭和60年度上期より乾式クリーンアップ技術の共同研究が本格化し、上記委員会に合流、今日に至っている。

現在、石炭ガス化複合発電プロジェクトチームの推進のもとに研究を継続中で、当該研究実施部隊は横須賀研究所に集結し、ガス化試験のほかに、水流モデルによるガス化炉内流動シミュレーション実験設備等の移設を実施中である。

2-4 研究の成果

空気吹きによる加圧噴流床石炭ガス化炉は、発電プラント全体として大きな魅力を有しているが、世界的にもほとんど経験がなく、基本方式としてのその成立性を実証して

表2-1 石炭ガス化炉の開発経緯

研究の狙い	年度	56	57	58	59	60	61	62	63
2トン/日ガス化炉の設計・建設		■							
ガス化基本特性の把握 (試運転調整、試験)				■					
				↑ 試運転調整	↑ 試験				
実炉に反映する研究開発						■			
炭種拡大・大容量化・高性能化							■		

みせることも重要な課題の一つであった。

本節では2トン/日石炭ガス化基本実験装置とこれまでの主要成果を紹介する。

I. 実験装置の概要

図2-3は実験装置の系統図である。左から石炭供給系、中央がガス化炉本体、チャー回収系、右側は発生ガスを焼却して排気する系統である。

中央の本体(起動用重油コンバスタを除く)と図2-2を比較して見ていただきたい。コンバスタは石炭を完全燃焼に近い形で燃やし、高温ガス(1500~1700℃)を発生させ、同時に灰を溶かしてとり出す重要な役割を担っている。

次にリダクタ部では下から入ってくる高温ガス中にはほぼ石炭のみを入れ、乾留・熱分解させる。これによりガス温度は急に下がり、1000℃位の平衡温度に落ち着く。

この反応過程により生成ガスが冷却されるので、ガス化炉本体出口部でのスラギング(灰の融着)を防止する効果にもなっている。

本ガス化方式は炉が2室に分けられ、それぞれに供給される石炭量、空気量、したがって各室の雰囲気条件をほぼ独立に調整・制御することができるので、ガス化炉全体を低い空気量に抑えた運転をしながら、コンバスタを比較的高温に維持することが容易である。

また、加圧ガス化であり、容積あたりの石炭処理能力が大きく(放散熱が低い)、高性能化、大容量化が可能となるわけである。

発生したガス中には多量のチャー(固定炭素分と灰分)が含まれており、サイクロンで回収し、再びコンバスタに投入する。この系統はチャー中の炭素を回収し、ガス化プラントとしての炭素利用率を高く維持するために不可欠の系統である。

本実験装置ではサイクロンを用いているが、チャーは、極めて小さい(10~30ミクロン)粒であり、これに加えて高性能チャー回収技術も必要である。

同図の微粉炭供給設備は、微粉末(約70ミクロン)の石炭を大気圧から加圧して空気搬送するために、少し複雑な構成となっている。

すなわち、ロックホッパでバッチ式に加圧し、計量ホッパで流量測定する。前述のようにガス化炉へは2系統あり、「2段」噴流床炉である。

なお、昭和60年11月には乾式クリーンアップ装置が完成し、サイクロンからの生成ガスを直接送って、ガス化・クリーンアップの一貫した試験研究、開発を行えるようになった。

II. ガス化炉運転手順

当所は勿論のこと、共同研究相手の三菱重工(株)も、加圧でしかも微粉炭をガス化する炉を経験したことがない。外国でもCE(コンバッションエンジニアリング)社の常圧109トン/日炉がみられるのみである。また、国内では加圧流動床ガス化炉があるが、石炭粒度、炉の方式が全く異っている。

ガス化炉の耐久性のためには炉内を水冷壁(ボイラと同様)で囲むのがよいが、本実験装置は極く小形であるため、コンバスタのみを水冷壁とし、他は耐火材内張りとしている。

そこで、本ガス化炉の運転は図2-4に示すように炉の昇温に時間を要する。さらに、炉が小さいため、昇温は重油コンバスタを設け別途行う。

昭和61年度から開始されている200トン/日パイロットプラントのガス化炉(後述)では全て水冷壁とし、重油コンバスタも特別に設けないので、冷態起動は同図とかなり異なる。

ガス化炉装置には各系統に多数(各種)の弁が組み込まれているが、試験研究の積み重ねで運転技術を確立してきた。

通常の試験工程では、高圧チェックを含む準備、ガス化試験、装置開放調査の4日が1サイクルである。昭和58年7月にガス化試験を開始して以来、純然たるガス化試験が61年12月現在で約1000時間に達した。

III. 炭種適合性

これまでに本ガス化炉で試験を行った石炭は11炭種に達している。図2-5はそれらの石炭の性状である(このほかに、

図2-3 2トン/日石炭ガス化基礎実験装置の系統

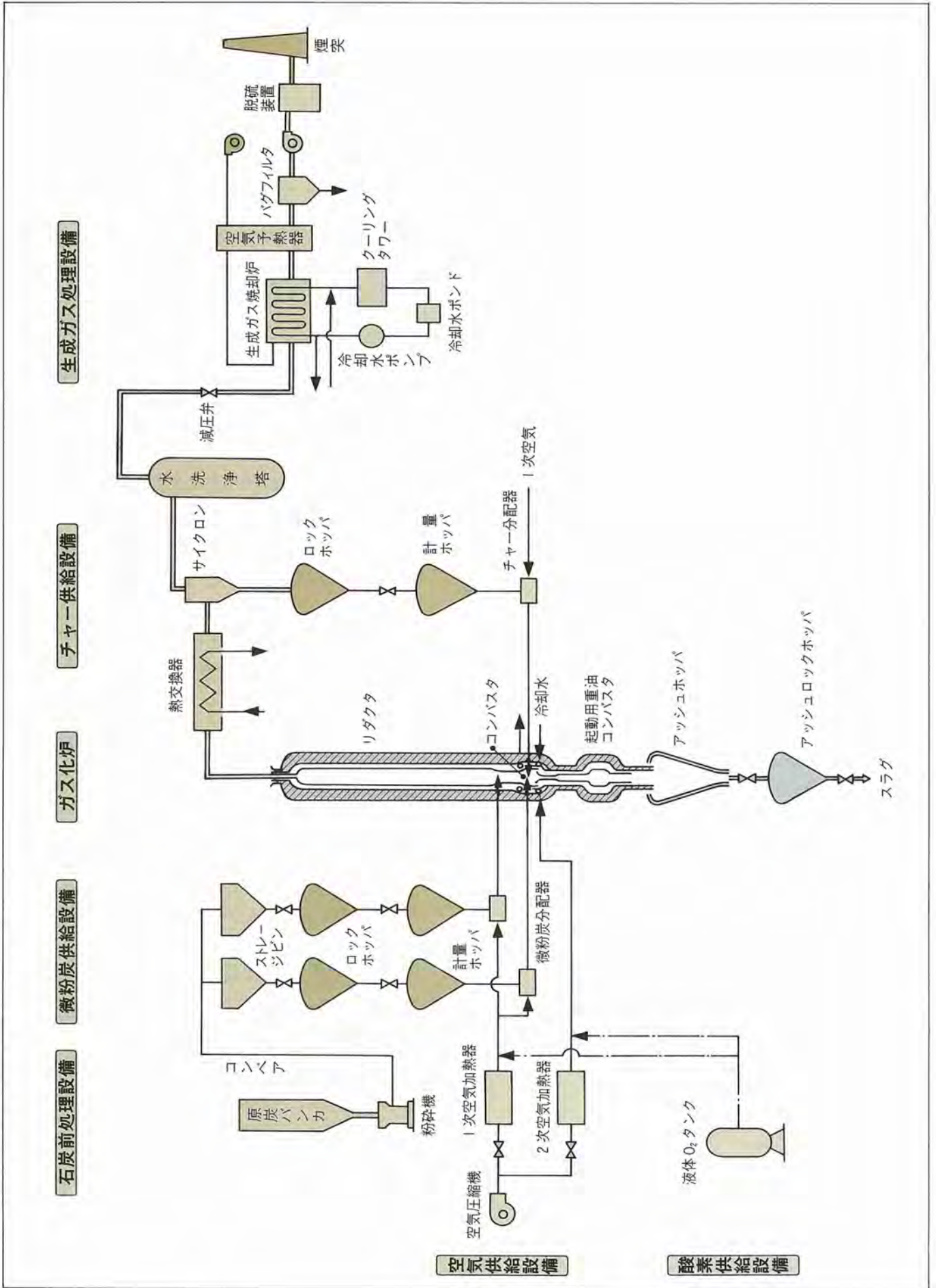
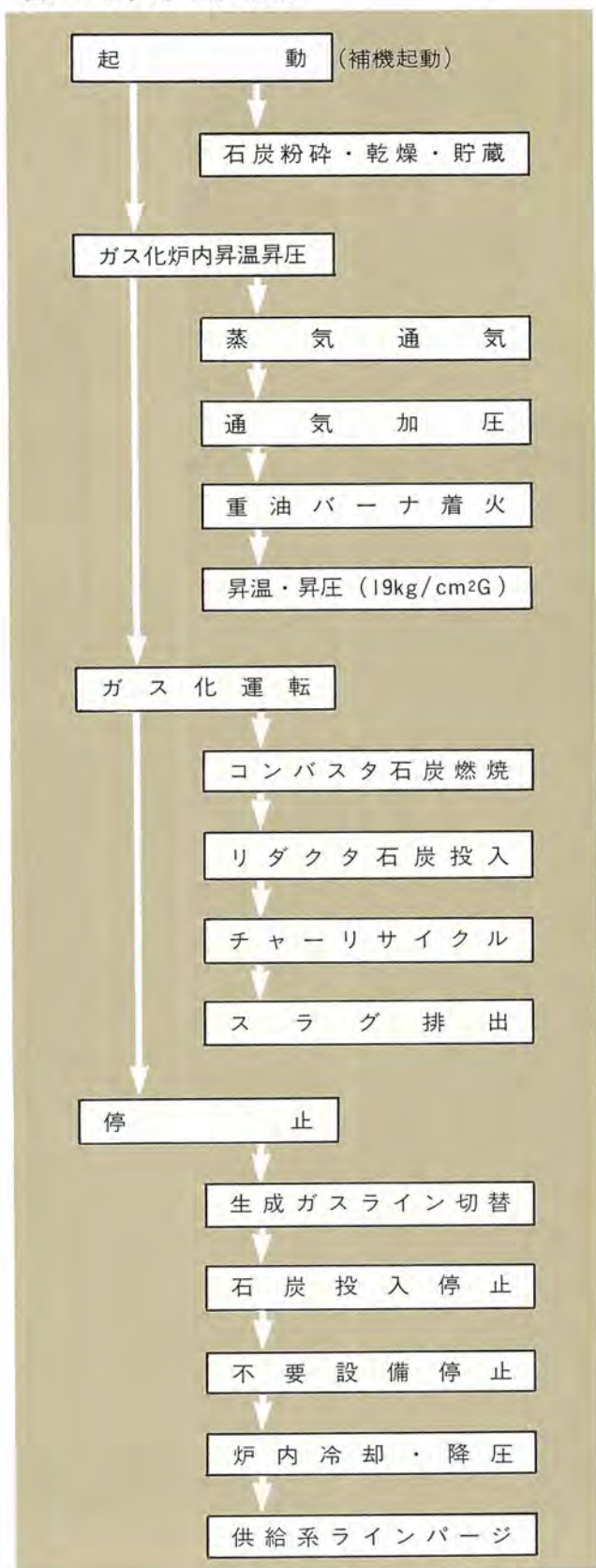


図2-4 2トン/日炉の運転



石炭の燃焼反応性の指標としての燃料比もあるが、ここでは割愛する。

ガス化炉は、まず石炭中の灰分を正常に溶融排出することが不可欠であり、これが炭種適合性の重要なカギを握る。そのためには灰の流動温度が大きな指標である。しかし、現在規格化されている内外の流動点等測定手法では1500℃以上は信頼性に欠け、今後の研究課題でもある。

一方、灰の溶融排出機能を受けもつコンバスタ底部のスラグタップについては、炉が小規模であるため、直接水冷壁構造方式は容易でない。そこで、耐久性のあるファインセラミックス内張り方式の採用と、2室方式の特徴とにより、コンバスタガス温度が適正に維持され、空気吹きでも広範囲の炭種についてスラグの排出が良好であることが確認されている。

以上のように、多くの炭種で基本的な事項は確認されてきたが、コンバスタ内の超高温雰囲気監視・計測する技術は容易でなく、他の微粉炭、チャー系統の監視とともに、今後の重要な研究開発課題であり、研究を続行中である。

IV. 環境保全性

ガス化炉から排出される灰がどのようなものかは、炉の優劣を決める大きな要素である。

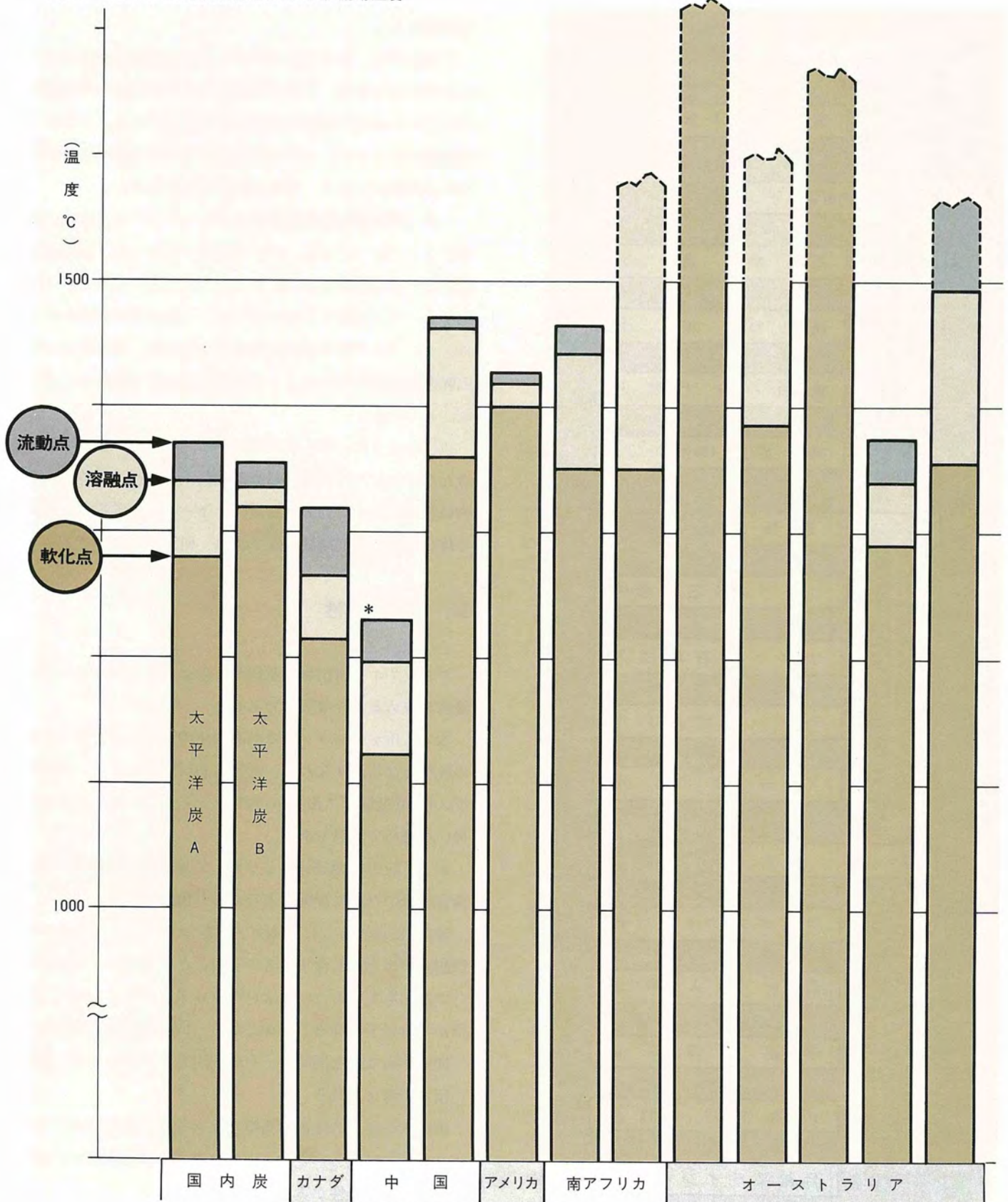
本ガス化炉のスラグ灰は溶融固化の過程によりガラス質の粒状となる。すなわち、通常の石炭火力ボイラ、流動床ガス化炉(低温ガス化)からのフライアッシュにくらべて取扱いが極めて容易である。

スラグ灰の主要成分はシリカ、アルミナであるが、他の含有成分のために炭種によりかなり色調が異なる。

表2-2に示すように、本ガス化炉からのスラグ中には未燃炭素がほとんど含まれていないこと、水中への有害な成分の溶出もないこと、およびフライアッシュにくらべて容積が半分以下になることなどから、「安定型」の廃棄物として期待がもてると同時に、有効利用もしやすいなど、幅広い用途が考えられる。

噴流床石炭ガス化複合発電プラントは、以上のような本ガス化炉の特徴と、ガスタービン排ガスの清浄度とともに優れた環境保全性が実証されたわけである。

図2-5 石炭ガス化試験供試炭のスラグ流動温度



* は他機関による測定結果

V. 発生ガス

空気吹きガス化炉では、空気中の窒素分のために発生ガスの発熱量(カロリー)が低い。2トン/日炉の発生ガス発熱量は運転条件、炭種により異なるが、通常650~1000kcal/m³Nである。

生成ガス中の可燃成分は、COが18~20vol.%、H₂が5~8vol.%、CH₄が0.1~1.5vol.%程度となっている。

また、発生ガス中にはタール分は検出されず、優れたガス化プロセスであることがわかった。

一方、発生ガス発熱量は、基本的には空気比(物理的には石炭投入量に対する空気量)に強く依存し、他の運転条件(炉内圧、石炭粒度、コンバスタバーナ旋回角など)の影響は小さいことがわかった。図2-6は発熱量特性であるが、本ガス化炉が小型のため放散熱が多く、発熱量は低めに出ている。

2室2段方式による噴流床ガス化炉の基本は西独ルールガス社に発し、米国CE社の5トン/日炉、109トン/日炉など、常圧炉の経験がみられる。

当所のガス化炉は「加圧」方式であるが、CE社炉と同一の供試炭を用いたガス化試験を行い、比較した。

石炭処理量と熱損失の関係をみると、本ガス化炉は小規模にもかかわらず圧力が高いので、常圧の109トン/日炉とガス化性能がほぼ同等であることがわかった。

これらと、ガス化炉のエネルギーバランスから、本ガス

化方式を採用する200トン/日パイロットプラントでは、石炭消費量に比し、大幅な熱損失の低減が達成でき、1000~1200kcal/m³Nの発熱量をもつ石炭ガスが得られることが試算された。図2-7はこの様子を示したものである。

VI. 炉形状、寸法など大型化研究

大型ガス化炉の基本方式を決め、設計の主要因子を決めるためには、ガス化炉の形状、寸法、バーナ配置などの検討が不可欠である。

このため、2トン/日炉の試験では当初設定した炉寸法を変え、ガス化性能を把握している。その結果、燃焼ガス滞留時間の影響は試験した範囲ではほとんどないことが判明している。

しかし、2トン/日炉では、バーナ配置などの大巾な仕様変更は難しく、又、炉内流動特性はガス化試験で詳しく知ることは極めて困難である。

したがって、コールドモデルを使ってシミュレーション実験などにより実測できないものを詳細に検討し、補完することが重要となる。

そこで、水流モデルを用いたシミュレーション実験を実施し、ガス化炉内流動様相の把握に努めた。これらによりバーナ配置、炉内での石炭、チャー粒子の挙動等について極めて重要な知見が得られている。図2-8はその例で、水流モデルによる流動様相を画像解析し、それを模式的に表現したものである。

表2-2 排出灰の性状比較

項 目	噴 流 床 ガ ス 化 炉	微 粉 炭 火 力
性 状	溶 融 固 化 ス ラ グ	フライアッシュ(80%) クリンカ灰(20%)
か さ 比 重	2.0 ~ 2.5	0.5 ~ 1.0
灰 中 の 未 燃 炭 素	0.2 % 以下	5 % 以下
埋 立 て ス ペ ー ス	小	大

2-5 成果の要約と今後の計画

I. 成果の要約

これまでの成果を端的に表わすと、

1. 空気吹き加圧2室2段噴流床ガス化炉の基本方式が確立された。
2. スラグ灰の特徴、性状からみて、環境保全性に優れたガス化炉が開発された。
3. 本ガス化炉方式に対し、炭種拡大化、大容量化の基本的成果が得られ、今後の進め方が明確となった。

4. 高性能化、高信頼度化を目指して、今後どの要素技術をどう研究開発すべきかが明らかとなった。などの点に集約される。

本ガス化方式が採用された200トン/日パイロットプラントの概念図を図2-9に示す。

現在設計段階で、細部は今後の要素研究、設計検討により詰められる予定であるが、2トン/日ガス化炉を中心としたこれまでの研究成果がパイロットプラントにどう反映されるかをまとめると表2-3のようになる。

図2-6 発生ガス発熱量

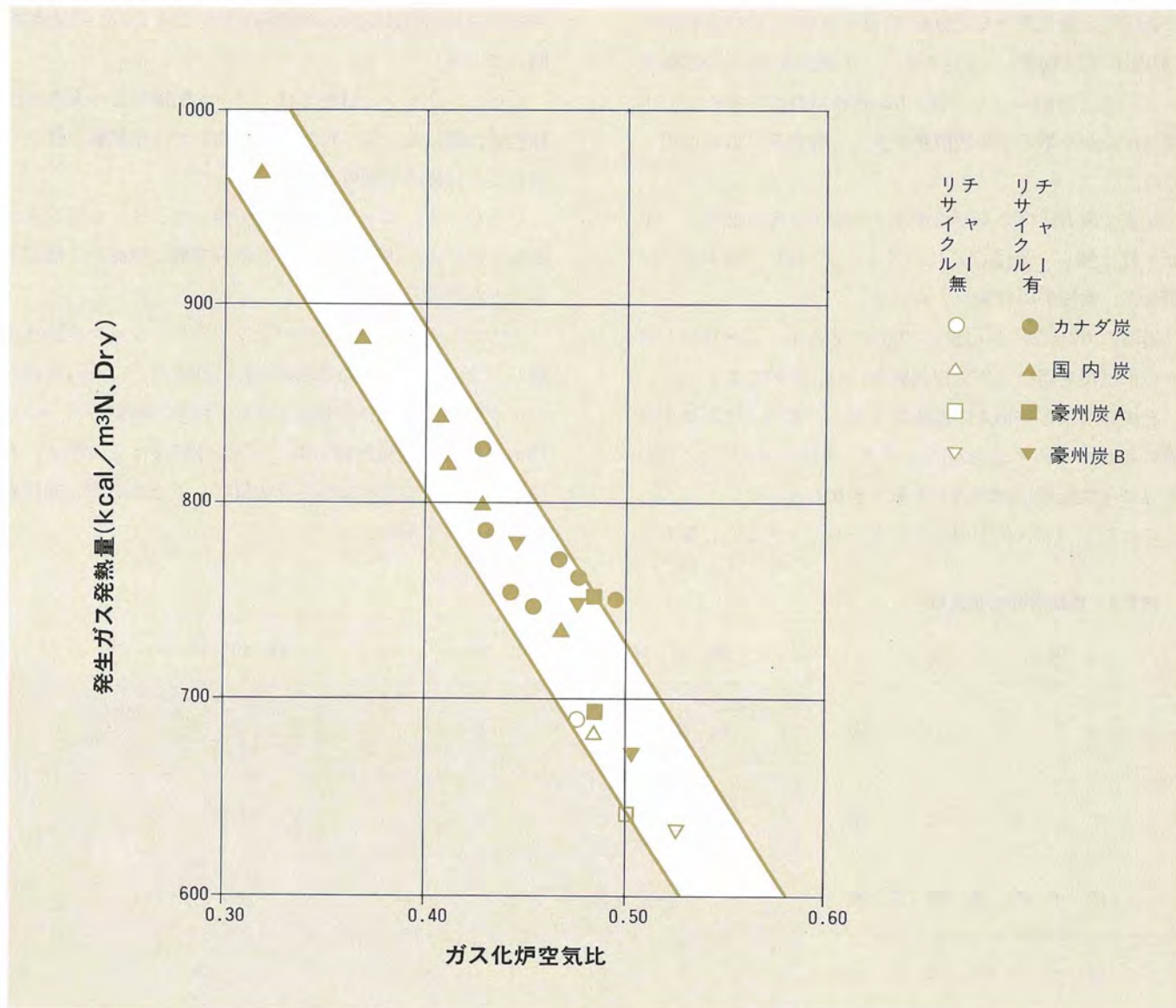


図2-7 大容量化と生成ガス発熱量

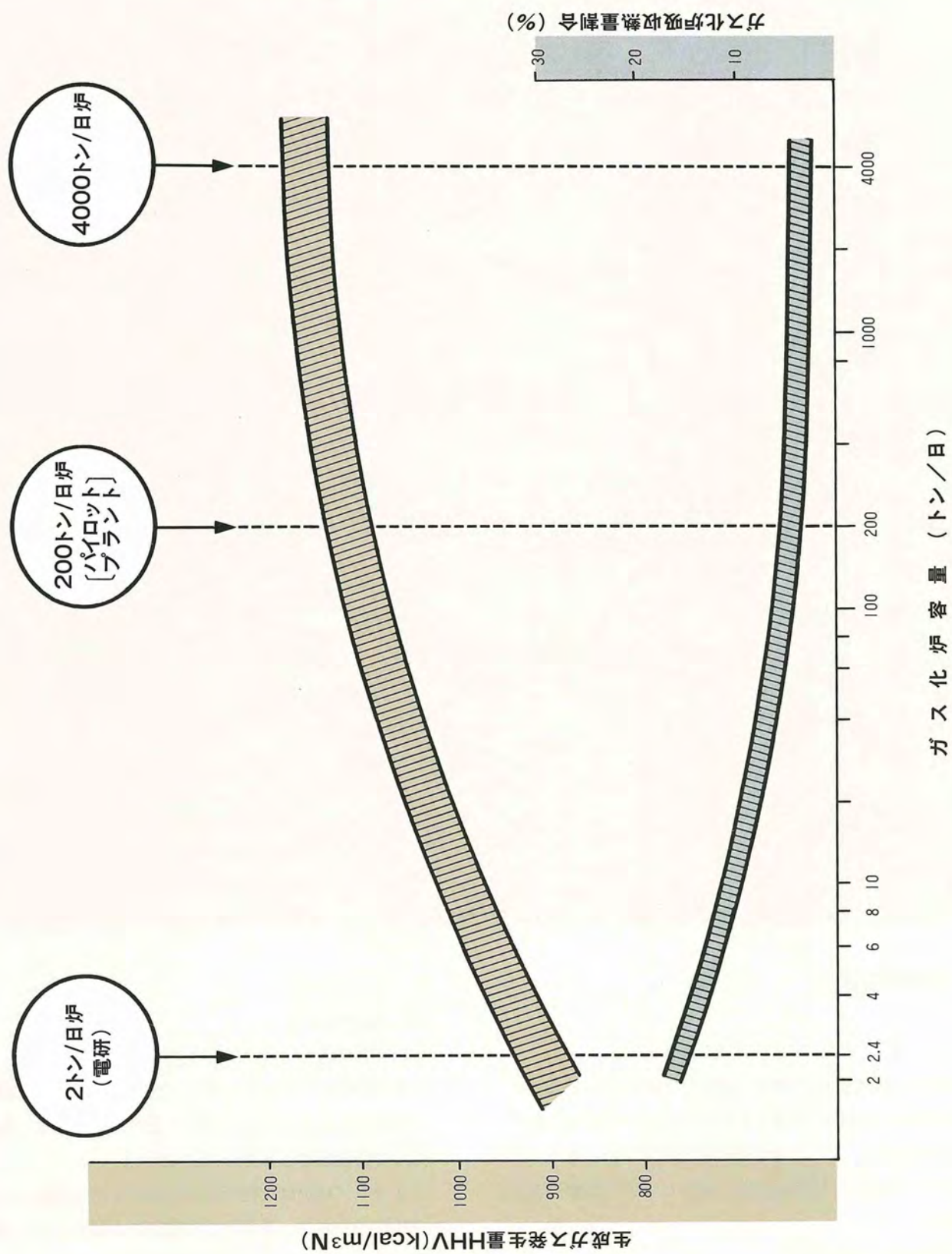
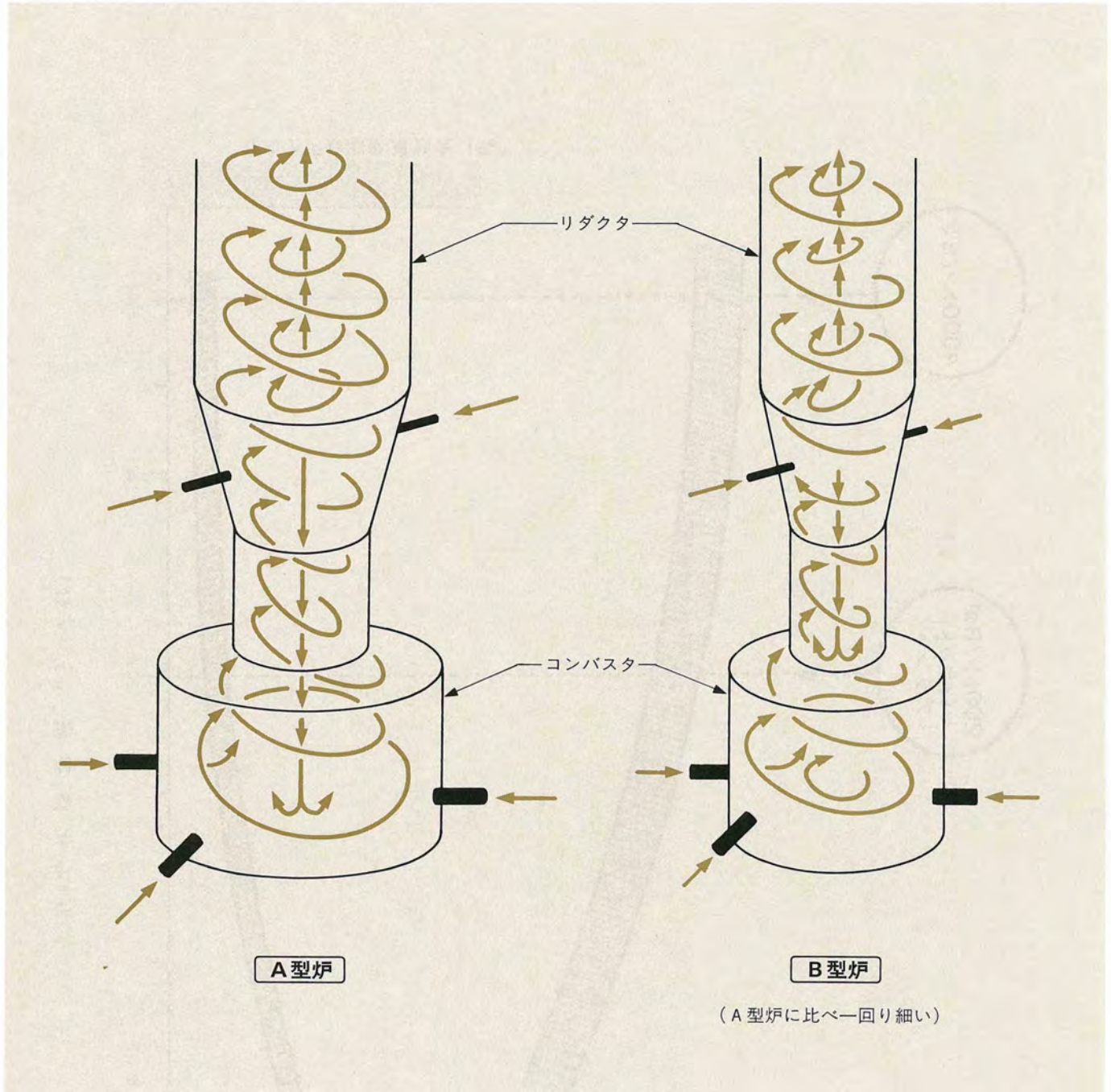


図2-8 水流モデルによる炉内流動パターンの検討



II. 今後の計画

従来の火力発電技術の発展、成長をみればわかるように、発電用石炭ガス化炉の開発・実用化のためには歴大な努力と資金を要する。これまでの研究成果はその緒であり、さらに数多くの詳細な技術的課題を解明していく必要がある。

今後は、

1. 高性能化、大容量化

2. 炭種拡大化

3. 高信頼度化

などの研究を推進する方針である。

その結果はパイロットプラントの細部設計、運転研究中の改善、試験研究内容の検討に資するとともに、実炉技術として集大成されるものである。

2トン/日炉は大型の炉を支援するための唯一の実条件実験装置であり、今後とも試験研究を進め、また他の関連研究手法を駆使していく必要がある。

図2-9 200トン/日パイロットプラント加圧噴流床ガス化炉の概念図

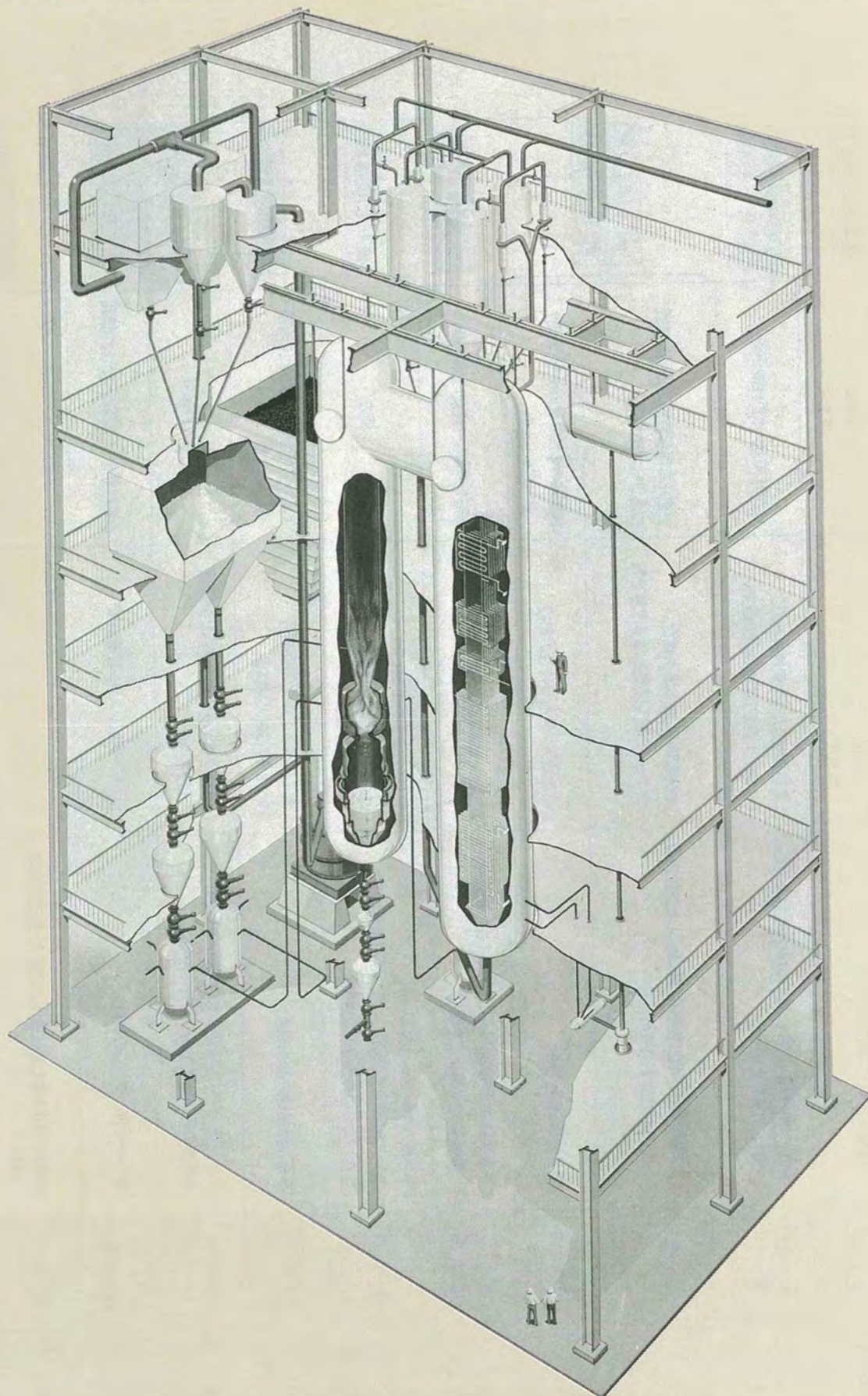


表2-3 2トン/日ガス化炉研究成果の要約と200トン/日炉設計への反映

項目	2T/Dガス化炉成果の要約	2T/Dガス化炉の実績	200T/Dハイロットプラント用ガス化炉
基本方式	2T/Dガス化炉成果の要約 空気吹き加圧二段噴流床方式	2.4T/D 20ata 空気吹	200T/D 25ata 空気吹
性能	ガス化基本方式	● ガス化炉規模、圧力とガス化炉性能(ガス発熱量)との相関把握	● 200T/Dガス化炉性能予測
	ガス化炉性能	● 滞留時間、空気比、吸熱量等に対応した特性把握 ● ガス化炉内流動特性の把握	● 適正な滞留時間、吸熱量の設定 ● 適正形状の採用
	コンバスタ	● ガス化反応性把握	● 生成ガス発熱量の予測(基準) 約1050kcl/m ³ N
	リダクタ	● 高灰融点炭(1500℃以上)に対しても空気吹きで良好なスラグ排出性を確認	● 海外・国内一般炭に対応可
	スラグ排出性	● 生成ガス中にタール無し ● スラグ中未燃分極めて少ない(検出限界以下) ● スラグからの有害物の溶出無し	● タール成分検出されず ● 未燃分極低レベル ● 溶出成分極低レベル
構造	環境性	● 水冷壁構造の適性確認	● コンバスタ及びリダクタに水冷壁構造を採用
	ガス化炉壁構造	● ロックホッパシステムの作動性・信頼性を確認 ● 石炭の空気搬送方式の適性を確認	● 同左の採用
	石炭供給システム	● チャー回収システムの検討	● 高性能チャー回収システムの適用
運転制御監視	● 起動・停止を含む運転操作法の計測・監視方式の検討 ● 高温・高圧下の計測・特殊分析・監視技術の方式検討	● 運転・操作法、監視技術の取得	● 同左の反映

基本方式の確立

スケールアップ技術

ガス化炉主要部の設計知見

炭種拡大化

優れた環境性

炉構造の信頼性

加圧・石炭チャー供給技術

ガス化炉運転監視技術

3. 原子炉配管の破断前漏洩(LBB)に関する解析手法の開発

—— 原子力発電所の設計合理化 ——

柏江研究所 原子力部 材料研究室 鹿島 光一／同・高橋 由起夫

3-1 研究の目的

原子力発電プラントにおける配管系の健全性を評価する為には、万一配管に亀裂のような欠陥が生じた場合を想定し、その亀裂に対する配管強度上の余裕を明らかにする必要があります。そのための手法の一つとして、破断前漏洩(LBB; Leak-Before-Break)と呼ばれる概念が今日多くの注目を集めている。

破断前漏洩とは、亀裂伝播に対する抵抗力が強い材料において、配管破断に先立って破面から十分に検知可能な量の冷却水の漏洩が生ずる現象をさしている。

このLBBが実際に成り立つならば、図3-1に示すような現在の複雑な配管防護装置(レストレイント)の設計を一部合理化し、検査作業を効率化し、あるいは作業被曝量を低下させることが可能となるなど多くの利益が期待される。

こうした観点から、今日LBBに関する研究の必要性が米国や西独をはじめとして世界各国で認識され、各種の配管破断試験ならびに破壊力学を基盤とした解析評価が

活発に行われている。

我が国でも(財)原子力工学試験センターが国の委託を受けて、ステンレス鋼配管のLBB実証試験を昭和52年度から58年度にかけて行った。一方当所では、LBBに関する評価手法の開発を進めてきた。本研究はこのなかで得られたステンレス鋼配管の破断条件に関する解析方法を基に、LBBの成立性を評価・検討したものである。

3-2 研究の内容

本研究では、ステンレス鋼配管における破断条件および漏洩検出条件を、破壊力学的な観点から評価するため、以下に示す3つの項目に関して検討を行った。

1. 配管における亀裂伝播条件の解析
2. 配管の破断条件の解析
3. LBB成立性の評価

以下には、上記項目の検討内容についてそれぞれ述べる。

I. 配管における亀裂伝播条件の解析

構造物に生じた亀裂の伝播挙動を推定するためには、亀裂の周囲における変形、応力、ひずみなどの力学的条件を正確に把握しておくことが重要である。

特に原子炉配管に多く使用されているステンレス鋼は延性(破断するにいたるまで多くの変形を示すような性質)に富んだ材料であり、亀裂先端の応力集中部を中心と

した広い範囲で材料の塑性域(材料が弾性限界を越え、降伏状態にある領域)が進展する。

こうした延性亀裂の伝播時における力学的条件を把握するためには、弾塑性応力条件下における亀裂伝播解析(弾塑性解析)を行う必要がある。

弾塑性解析に関しては、近年構造力学において急激な発展を遂げた有限要素法が広く利用されている。同手法は解析対象形状に優れた汎用性を持っている。

そのため、まず2次元弾塑性有限要素法に基づき解析コードを開発し、取扱いの容易な平板試験体を対象とした亀裂伝播解析を行い、破壊力学パラメータを用いた亀裂の安定伝播条件を導いた。

次にこうした手法を3次元構造に拡張し、配管に生じた周方向の亀裂伝播を対象とした3次元解析コードを開発した。

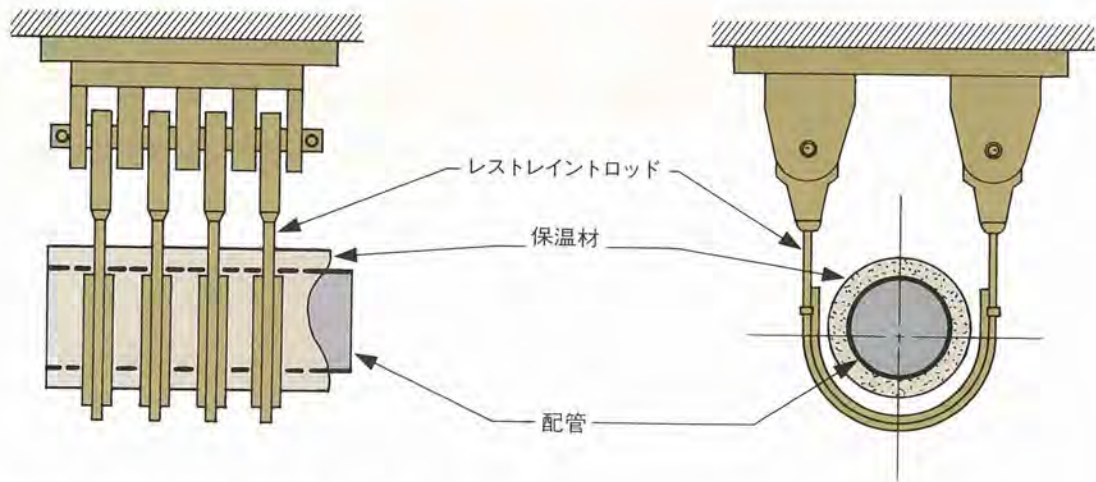
亀裂伝播条件としては、先の2次元解析で得られた破壊力学パラメータの結果を用い、図3-2に示すような周方向の貫通亀裂(内周から進展し肉厚を貫通している形状の亀裂)及び、未貫通亀裂(内周から進展し肉厚をまだ貫通していない形状の亀裂)の伝播挙動を推定した。

これにより、亀裂伝播時における荷重・変形特性の解析結果は、国の実証試験で得られた実測値と良好な一致を示し、解析手法の妥当性が確認された。図3-3は一例として、未貫通亀裂の伝播に伴う亀裂形状の変化を解析した結果である。



図3-1 軽水炉配管におけるレストレイント(配管振れ止め装置)

(1) BWR(沸騰水型軽水炉)配管に用いられているレストレイント



(2) PWR(加圧水型軽水炉)主要機器支持構造物
および配管レストレイントの配置図

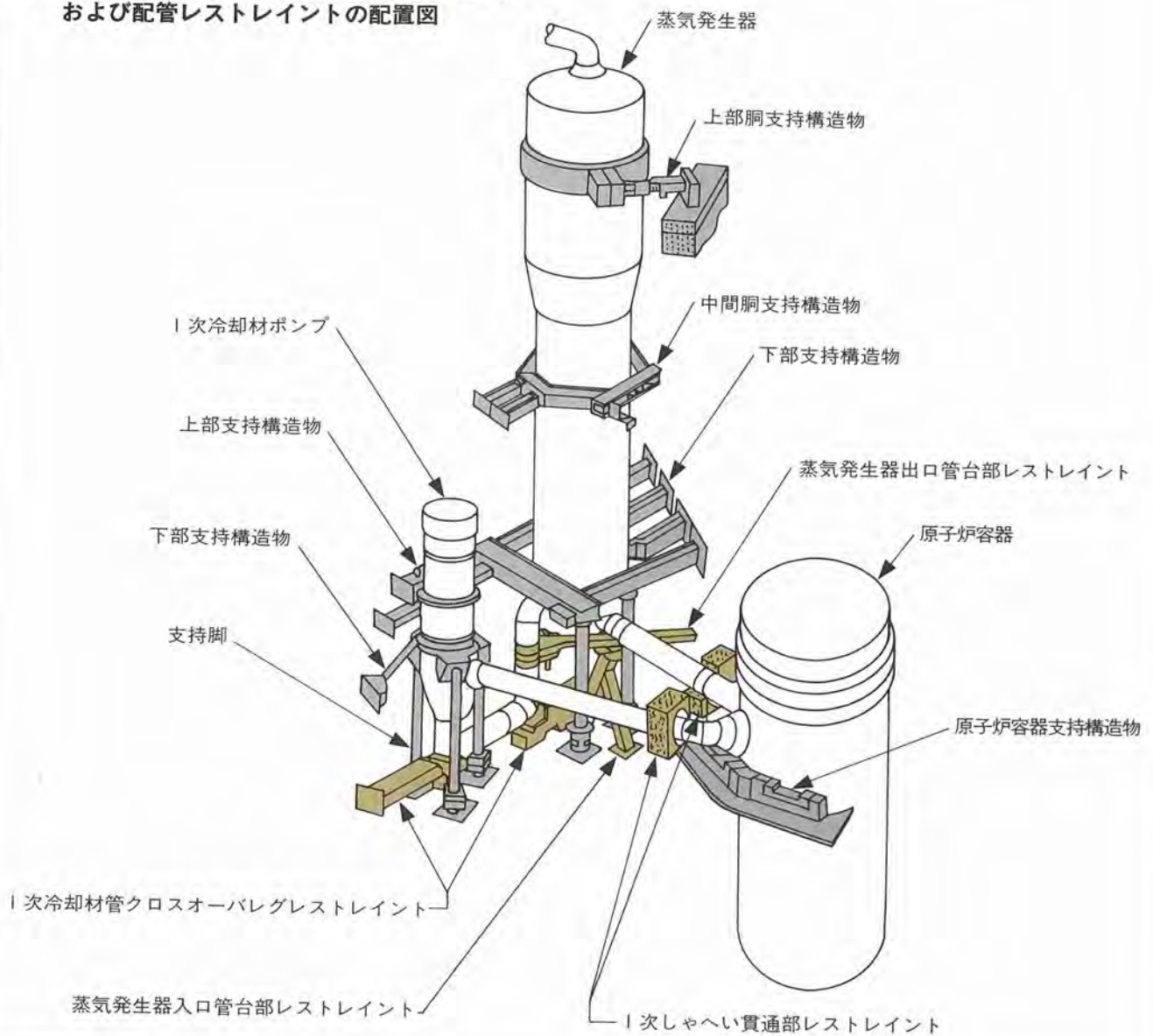
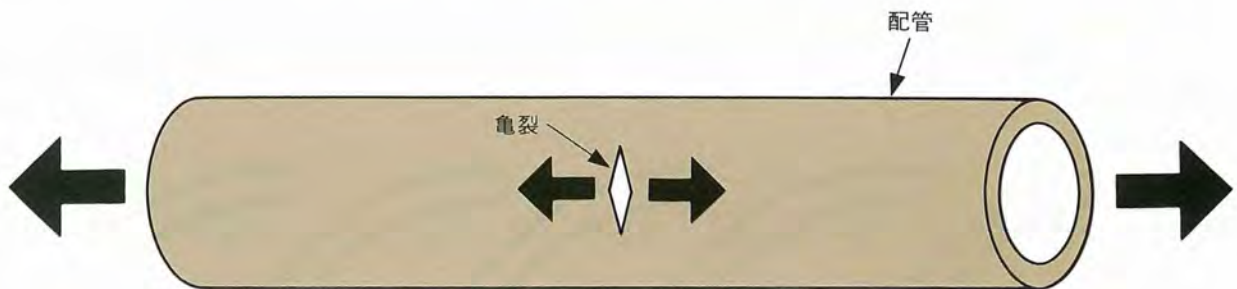
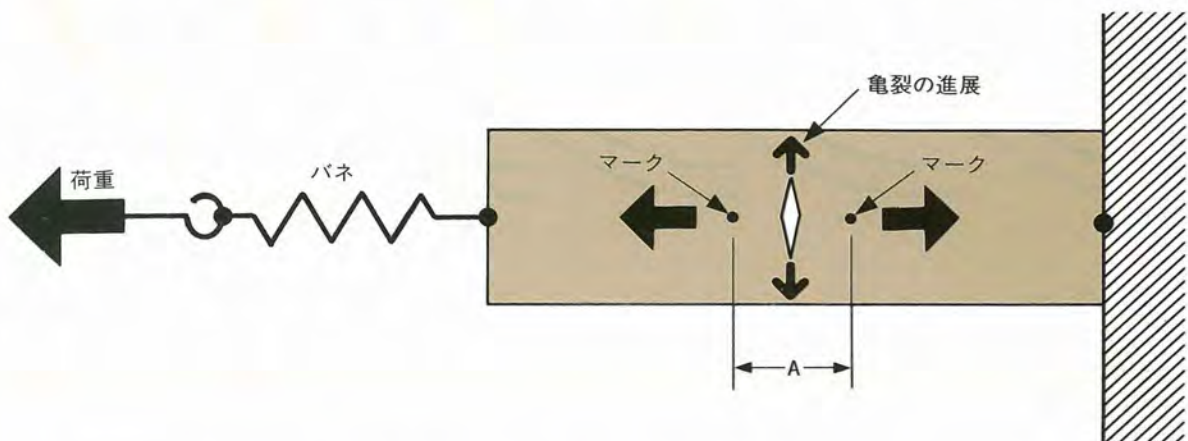


図3-2 亀裂伝播条件を解析するモデルの考え方

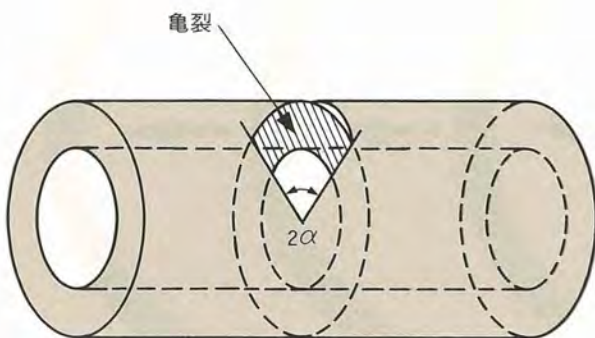
1. 配管は内圧によって生ずる力や自重、熱膨張などで引っ張られている



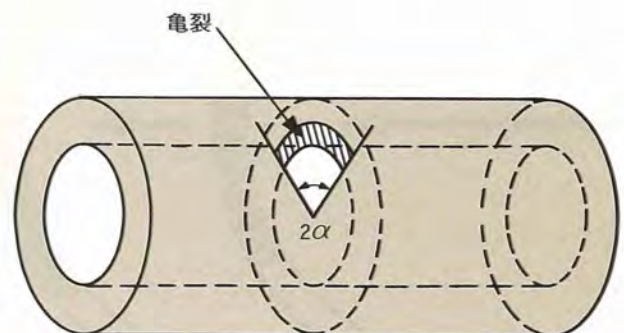
2. これを、一端で固定した配管をバネ(コンプライアンス)を介して引っ張るモデルとして簡略化



3. 亀裂近くにつけたマークの間の長さAの伸び具合と亀裂の進展量および荷重との関係を、貫通亀裂と未貫通亀裂のそれぞれについて有限要素法で解析する

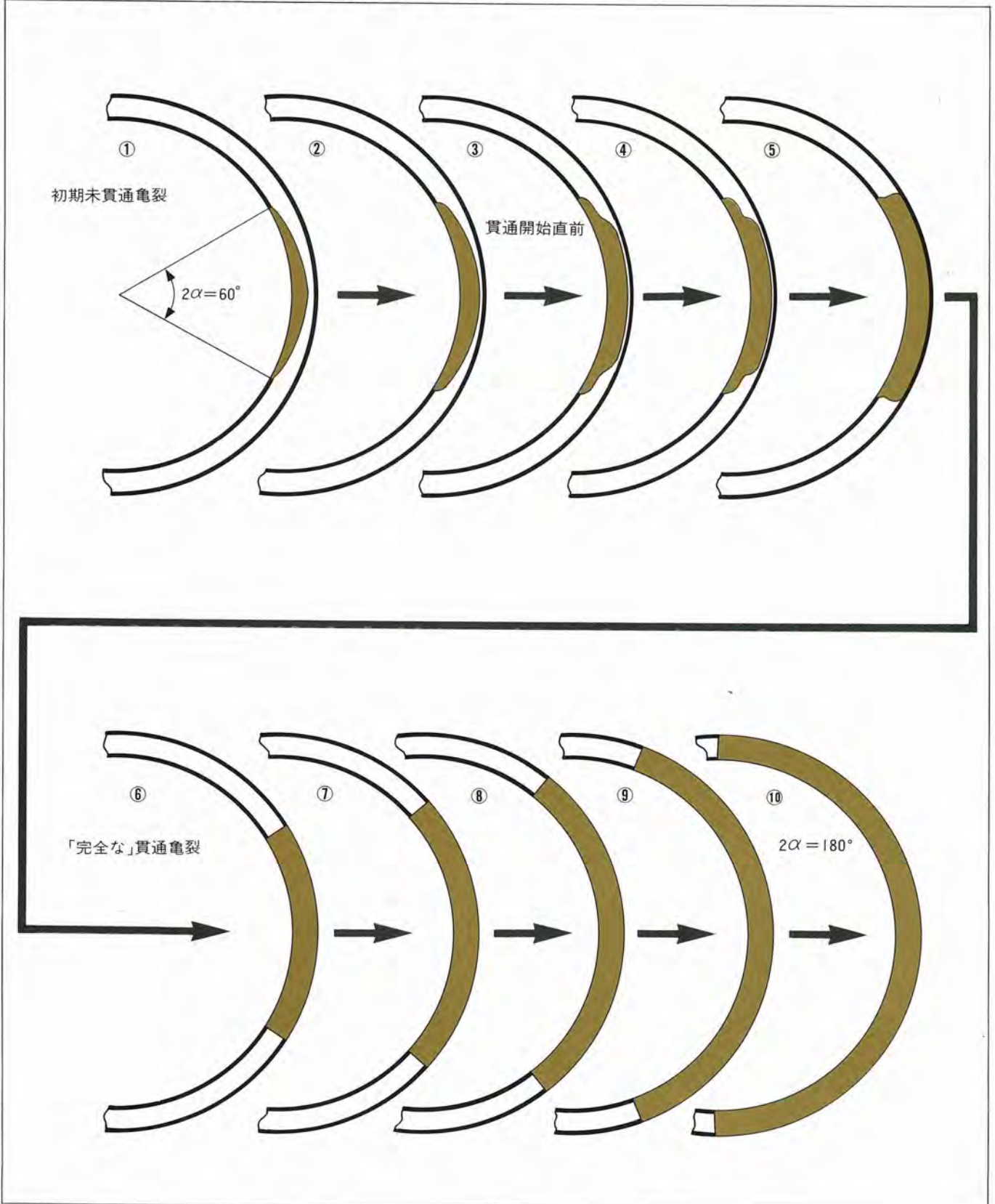


① 貫通している亀裂



② 未貫通な亀裂

図3-3 未貫通亀裂の伝播に伴う形状の変化(有限要素法解析結果)



Ⅱ. 配管の破断条件の解析

有限要素法による解析は多大の計算コストを必要とするため、有限要素解析で確認された亀裂の伝播特性と、実測結果から導かれた荷重—変形特性とを組み合わせ、簡単な配管破断解析モデルを新たに開発した。

同モデルを用いて配管破断に及ぼす各種因子の影響を評価し、特に配管系のコンプライアンス(系のたわみ易さを表わし、変位量と荷重との比で表わされる)の値が、安定な亀裂を不安定化させるのに大きな働きをすることを明らかにした。

またステンレス鋼配管の破断条件は、亀裂断面部における応力限界値で表わされ、この限界値は材料固有の物性値(流動応力)で表わされることを導いた。

このほか、破壊力学パラメータの簡易評価式を用いる方法や、破壊力学基準と塑性崩壊基準といった2つの破壊基準を結び付けた方法など、これまで米国や英国で開発されている各種の簡易評価手法を導入して、配管の破断条件に関する多角的な検討を行った。

Ⅲ. LBB 成立性の評価

上記の有限要素解析手法ならびに簡易解析手法を用い、実機における配管寸法、設計荷重、コンプライアンス等の条件を考慮して、次のように軽水炉高温環境下におけるLBBの成立性を評価した。

1. 貫通亀裂を有する配管

貫通亀裂を有する配管に対しては、配管破断時における亀裂の限界寸法を推定した。一方、現行の漏洩検出条件(5 GPM : 毎分5ガロンの冷却材漏洩)を用いて漏洩検

出が可能となる亀裂寸法の限界値を、簡単な2次元モデル解を用いて推定した。

これにより、運転時に想定される負荷応力に関し、漏洩検出限界時の亀裂寸法は、配管破断限界時時の亀裂寸法より小さく、漏洩検出時において亀裂が安定であると同時にLBBが成立することを示した。

2. 未貫通亀裂を有する配管

未貫通亀裂を有する配管に対しては、亀裂先端が配管の外壁にまで進展し、漏洩が開始する時の応力条件を推定し、これを配管破断条件と比較した。

その結果、設計荷重下において初期未貫通亀裂の大きさが角度にして約180度以下であるならば、漏洩開始時において、破断条件は満足されず、LBB条件が成立することを推定した。

ここで、一定の大きさ以上の亀裂がすべてPSI(供用前検査)によって検出、除去されると考えるならば、今日の検査技術では、180度以上の大きな亀裂の存在を想定する必要がなくなり、この意味でLBB条件が満足される。

このようにして、ステンレス鋼配管におけるLBBは、漏洩検出やPSIに関する前提条件のもとで、基本的に成立することを導いた。

3-3 研究の成果

本研究によって得られる効果のうち、原子力工学上の成果としては、原子炉配管の健全性を検討する手法として、弾塑性破壊力学の有用性が確認されたことがあげられる。

破壊力学を用いた健全性評価は、これまで主として弾性破壊力学の範囲のみに限られていたが、ステンレス鋼配管のような延

性材料における破断現象といった複雑な事象の解析にあたって、今回弾塑性破壊力学を実用的に使用することが可能となったことの意義は大きいものと考えられる。

さらに本研究の主眼であるステンレス鋼配管の実機条件下におけるLBBの解析手法が開発されたことは、原子炉配管に対する健全性の確認及び配管設計合理化研究の基礎を与え、電気事業における実用上の効果は大きいものと考えられる。

こうして本解析手法は、国のステンレス鋼配管に関するLBB実証試験において活用され、その結果、実機条件下におけるステンレス鋼配管では、一定の漏洩検出時において亀裂が安定であることを導き、配管のLBB成立の可能性を解析的に明らかにした。

しかしながら、LBBの成立は材料固有の性質のみから確保されるものではなく、PSIにおける欠陥検出技術や、通常運転時における漏洩検出技術の高度の信頼性が基盤となっていることは言うまでもない。

今後はステンレス鋼配管に対するLBB研究の成果を踏まえ、さらに原子炉配管に多用されている炭素鋼配管におけるLBB成立の可否についても検討を進めていく予定である。また、海外における各国のLBB研究機関とも密接な連絡を保ち、国際協力体制の中で、さらに研究の推進を図っていく予定である。 ●

4. 新型の深部地圧計測器の開発

——立地調査のコストダウン——

我孫子研究所 立地部 地盤研究室 金川 忠

4-1 研究の目的

地下発電所などの発電施設を、地下深部に収納するための、大規模な岩盤空洞を建設する際には、岩盤内部に3次的に作用する地圧の大きさや方向を考慮して、設計・施工が行われ、その結果空洞の安全性が確保されている。

岩盤内部に働く地圧の大きさは、岩盤の重さ(自重)だけでなく、地殻運動と関連した海底のプレートにより日本列島が押されて発生する応力や、古来の褶曲運動などにより発生した応力など、多くの要因により発生しており、それらの応力が一緒になって作用している。

そして、これらの応力は地形や地質構造の影響を受けて地山内部で複雑に分布している。

このように複雑な応力場は単純に想定することが困難であることから、大規模空洞掘削予定位置の地圧状態を、掘削以前に計測により明らかにし、安全で合理的な空洞建設計画を策定する必要がある。

そこで、当所では電力各社の地下構造物の設計・施工に用いるため、電研式地圧計測法を開発し、既に30地点以上に適用して実際に役立ててきた。

しかし、従来の方法で3次的な地圧を計測するためには、3本の計測用ボーリングが必要なため、計測も大掛りなものになっていた。

本研究は、これを合理的かつ経済的な方法にするために、1本のボーリングで地圧

計測が可能な新しい地圧計測器を開発し、精度の向上を図るとともに、計測労力の削減およびコストの低減化を行ったものである。

4-2 研究の内容

電研式地圧計測法の概要を示すと図4-1の通りである。

すなわち、地下空洞建設予定位置の岩盤内部(地圧が作用している)に小口径(ϕ 46mm)のボーリング孔を削孔し、その孔内に地圧計測器を設置してセメントで埋設する。

そして、その周囲の岩盤を大口径(ϕ 218mm)のボーリングにより切り離す(これをオーバーコアリングと呼ぶ)。

このオーバーコアリングにより、地圧計測器周囲の岩盤は、今まで受けていた地圧が解放され、地圧により生じていた岩盤のひずみがゼロに戻る。この量を地圧計測器で測定することになる。つぎに、地圧計測器が埋設された状態の岩盤(コア)に三軸セルを用いて圧力をかけ、外圧に対する地圧計測器の感度を調べる。この感度係数を求めることによって、地圧解放時のひずみ量から地圧を算出することができる。

この計測法により、従来は図4-2(1)に示すように方向の異なる3本のボーリングを行い、各測点のひずみ計測値を組合せて解析し、3次元状態の地圧を求めてきた。

しかし、もし1つの測点で3次元地圧計

測が可能となれば、従来方式のように測点の位置が異なるひずみ計測値を組合せて解析する必要がなく、測定精度が飛躍的に向上するとともに、図4-2(2)に示したように計測のためのボーリング孔も1本で良く計測コストを低減させることができる。

そこで、1測点で3次元地圧計測が可能となる新しい地圧計測器を開発するために、以下の内容について研究を行った。

1. 3次元地圧計測器の試作
 2. 室内実験による検討
 3. 現地試験による検討
 4. 従来方式による地圧計測結果との比較
- 以下にこれらの内容について示す。

I. 3次元地圧計測器の試作

1測点で3次元地圧計測が可能となる測定成分の組合せを種々抽出し、その組合せに対する計測器の製作可能性を検討した。

そして、図4-3に示す8成分ゲージ(ボーリングの孔径方向4成分(①~④)と孔軸に対して斜め方向4成分(⑤~⑧)の組合せ)を試作した。

3次元地圧計測を行うためにはこのうち6成分が必要であり、残りの2成分により測定精度の検討を行うことができる。

II. 室内実験による検討

試作した8成分ゲージの適応性を検討するために30cm立方の岩石供試体を用意し、そのボーリング孔内に8成分ゲージを埋設

図4-1 電研式地圧計測手順（鉛直ボーリングの場合）

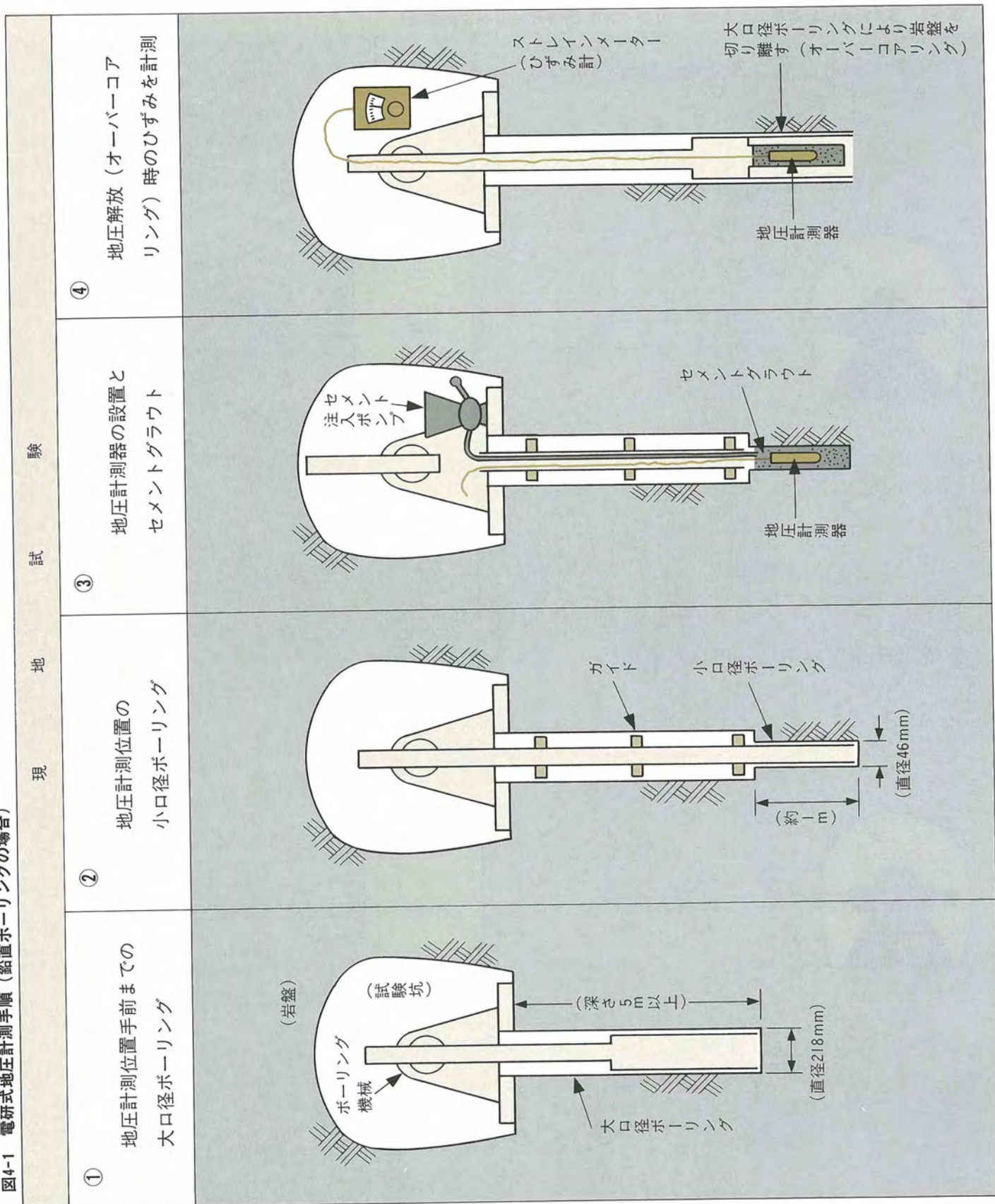
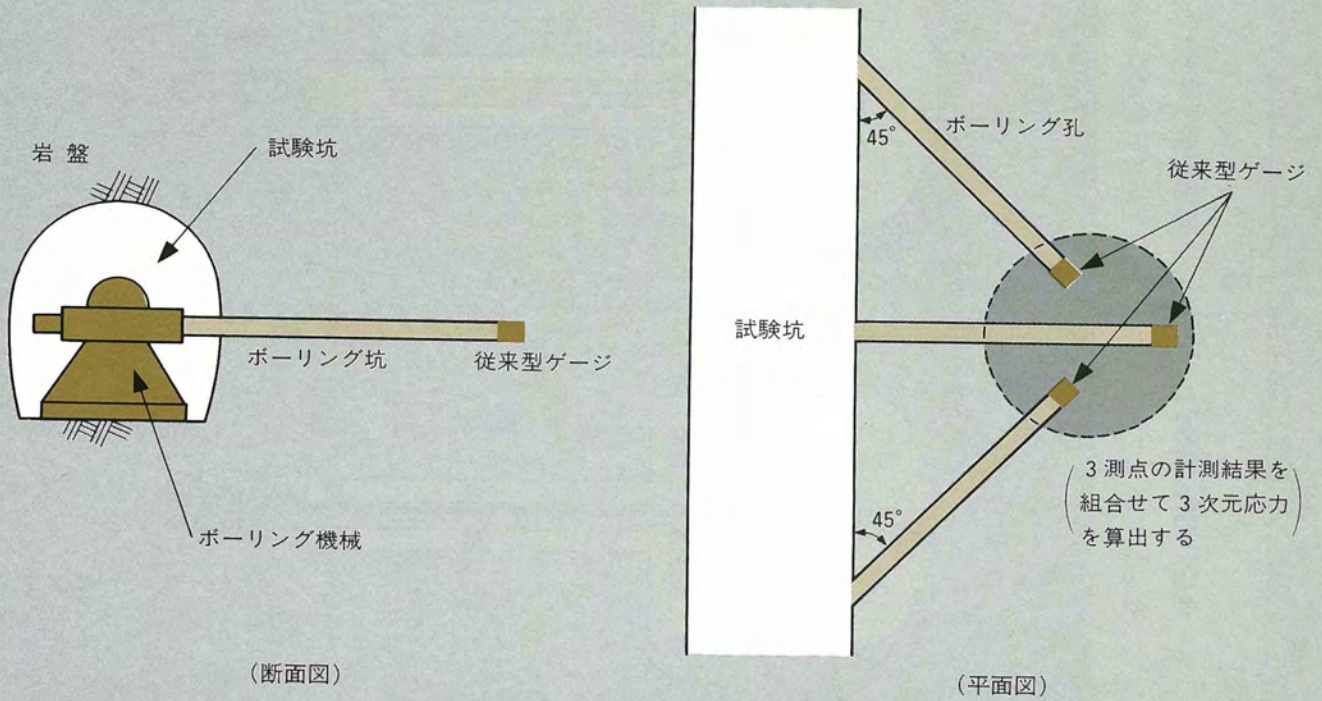


図4-2 3次元地圧計測器のためのボーリング方向(水平ボーリングの場合)

(1) 従来方式による3次元地圧計測の場合



(2) 3次元地圧計測器を用いた場合

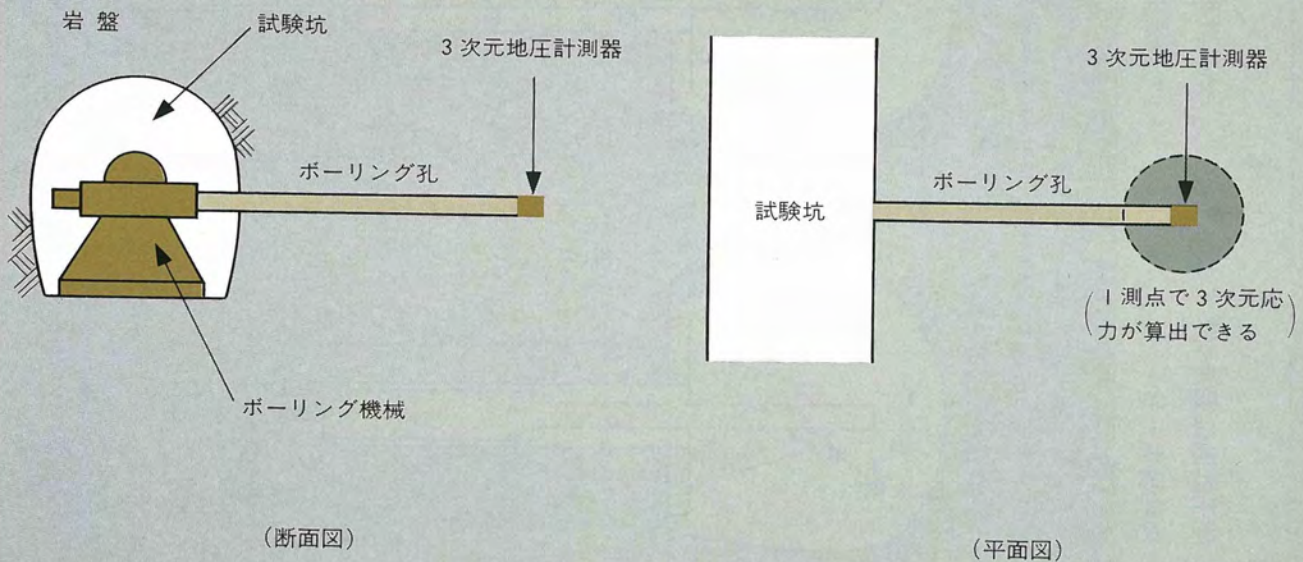
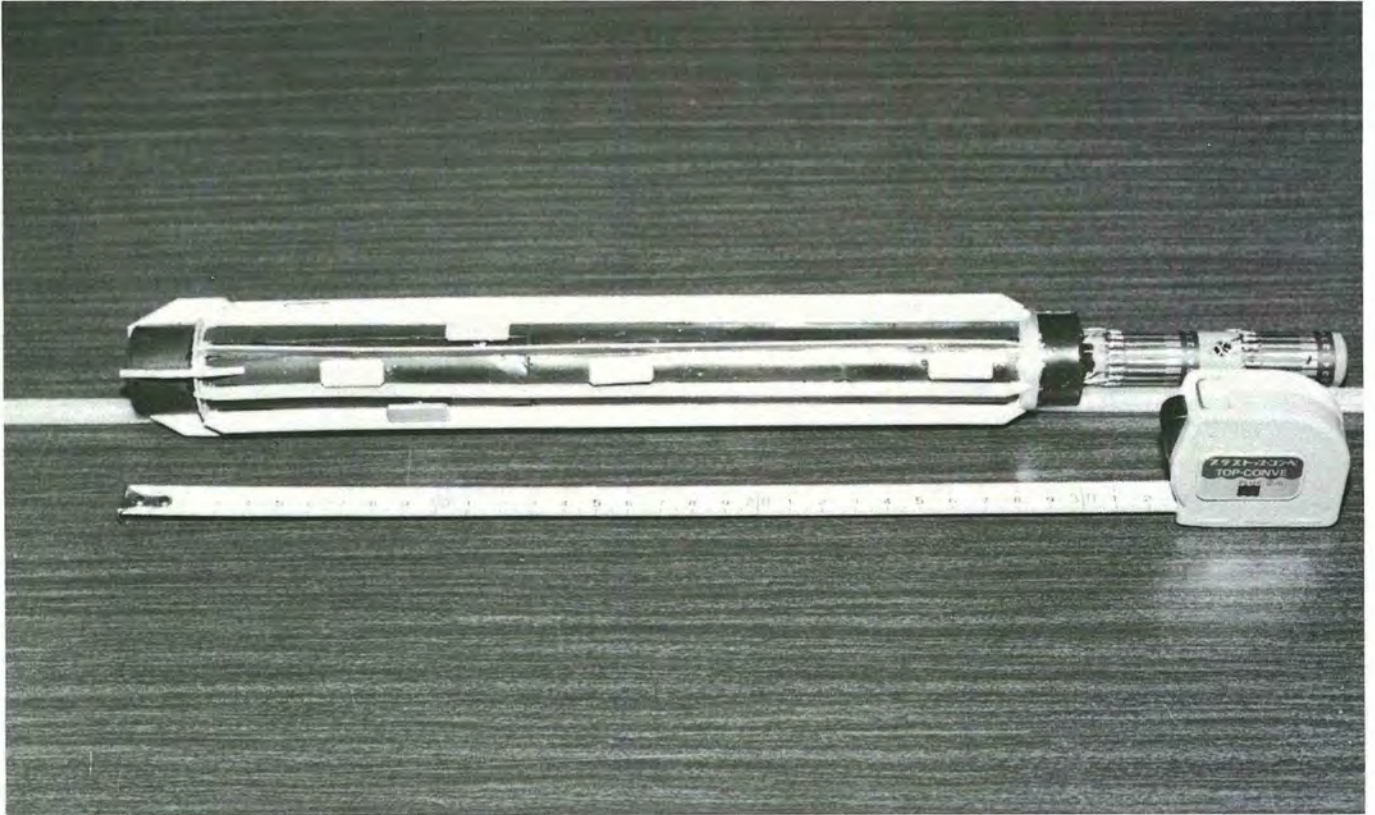


図4-3 3次元地圧計測器(8成分ゲージ)の構成

(1) 8成分ゲージの外観



(2) 8成分ゲージの構成

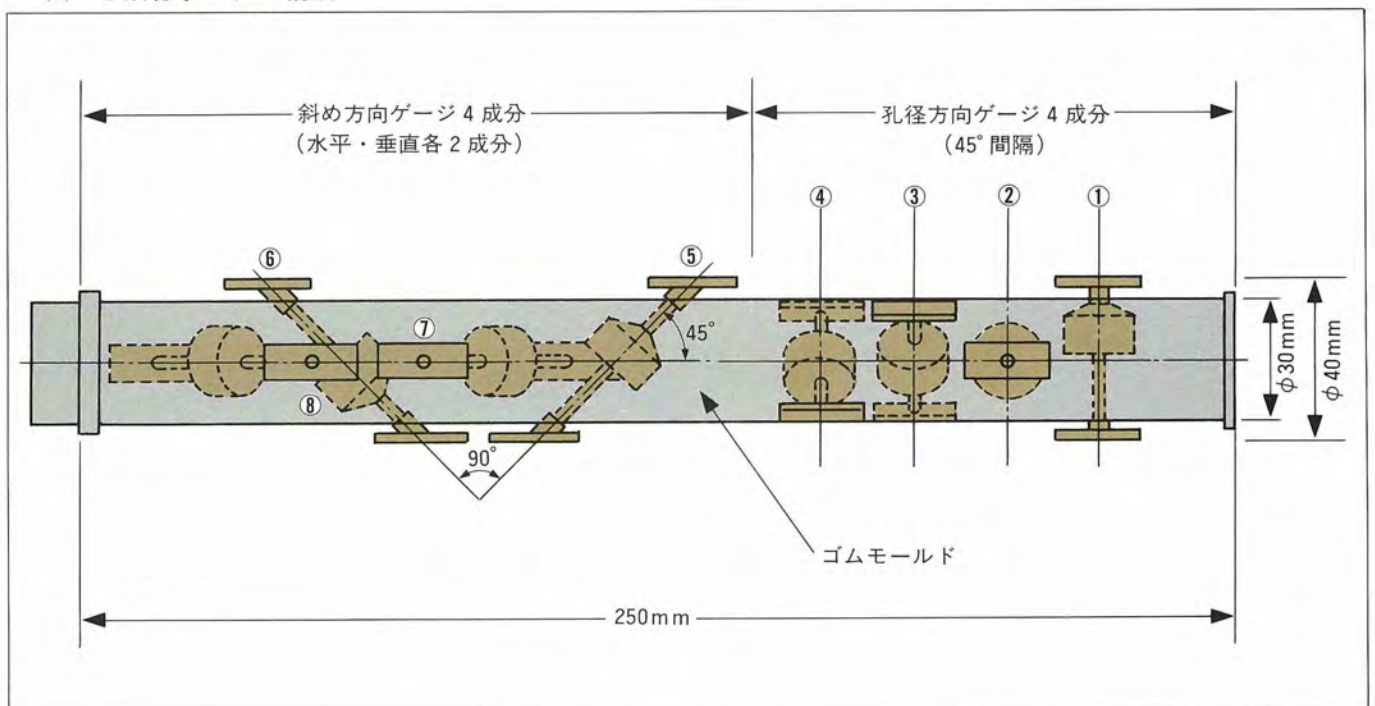
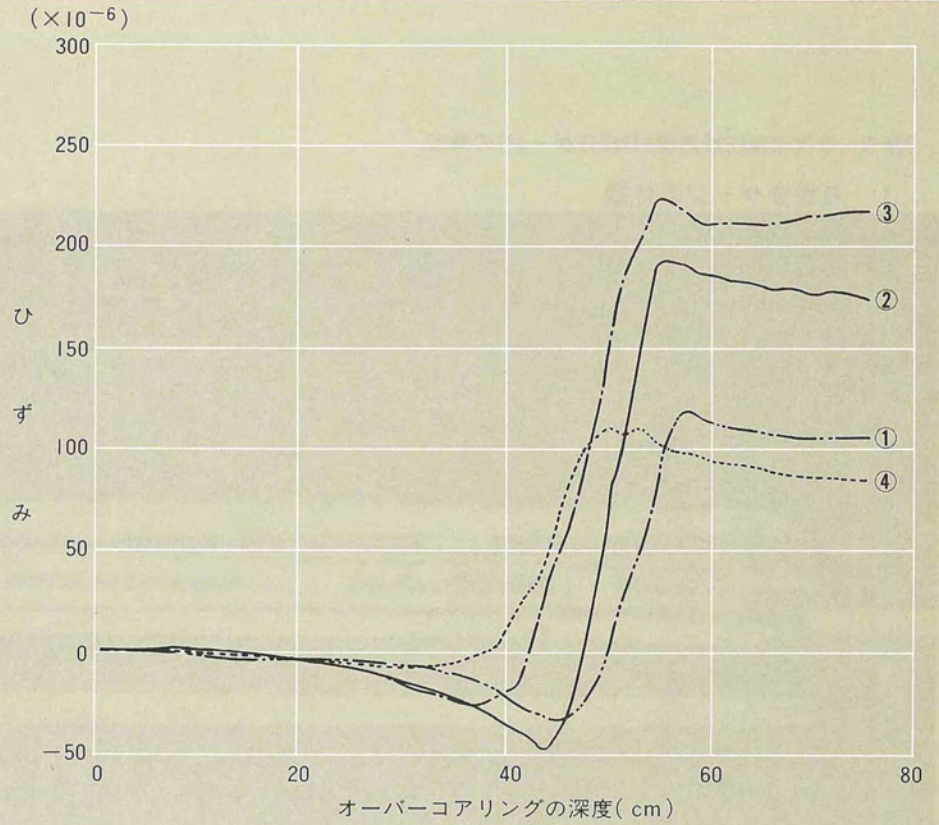


図4-4 8成分ゲージの現地適用例

(1) 孔径方向ゲージの
オーバーコアリング中の
ひずみ変化

- No.1
 - No.2
 - No.3
 - - - No.4
- (孔径方向ゲージ)



(2) 斜め方向ゲージの
オーバーコアリング中の
ひずみ変化

- - - No.5
 - No.6
 - - - No.7
 - - - No.8
- (斜め方向ゲージ)

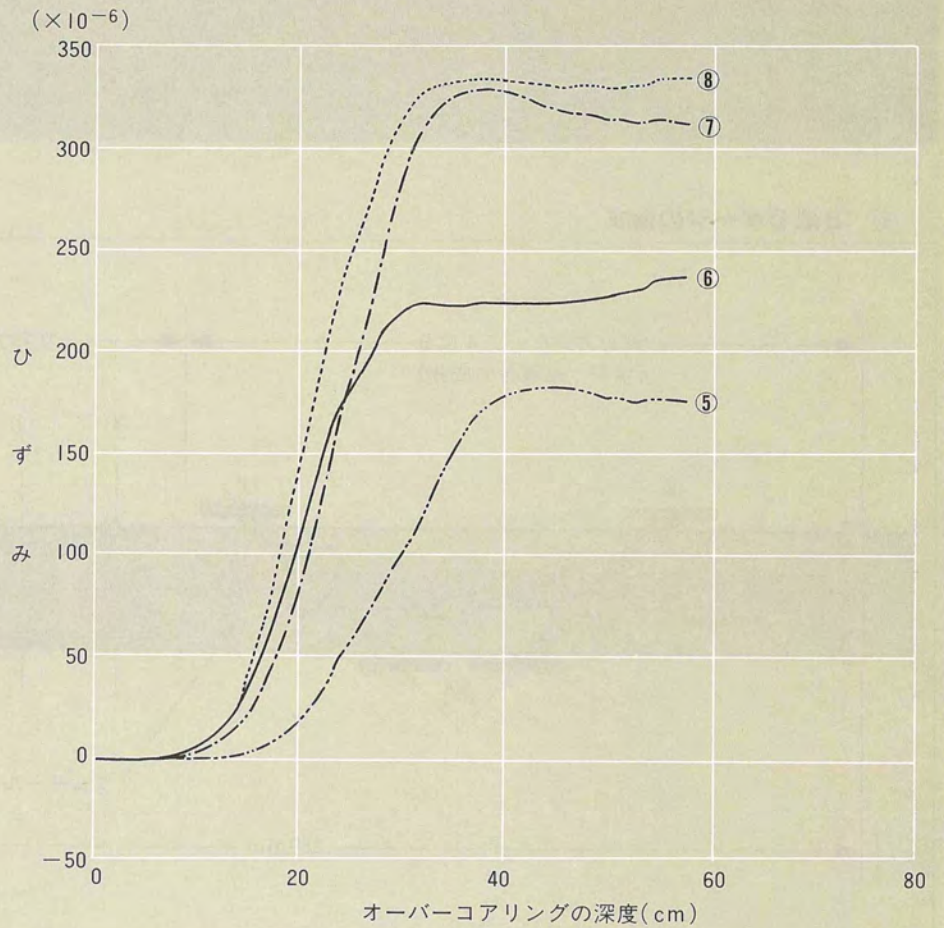


表4-1 3次元地圧計測器による地圧計測結果と従来方式による結果の比較

応力成分	3次元地圧計測器による地圧計測結果(1測点)	従来方式による地圧計測結果(7測点)	備考
X方向応力	-57 kgf/cm ²	-57 kgf/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> ● 負符号は圧縮応力 ● 座標軸 
Y方向応力	-60 //	-58 //	
Z方向応力	-57 //	-40 //	
せん断応力(XY)	-4 //	-11 //	
せん断応力(YZ)	32 //	19 //	
せん断応力(ZX)	-18 //	-10 //	
X、y、Z方向応力の平均値	-58 //	-52 //	

して載荷実験を行った。

その結果、8成分ゲージにより算出した応力は、載荷試験で与えた荷重を正しく反映することがわかり、8成分ゲージが3次元地圧計測器として十分な精度を持っていることが明確となった。

Ⅲ. 現地試験による検討

8成分ゲージを現地で適用した試験例を図4-4に示す。

①～④の孔径方向ゲージはオーバーコアリングの進行に伴い、ひずみが一度減少した後大きく増加して一定となっている。

これに対し、⑤～⑧の斜め方向ゲージは、ひずみの減少が認められず、単調に増加して一定となっている。

このような挙動は理論的にも確かめられており、8成分ゲージが正しく動作していることが確認された。

Ⅳ. 従来方式による地圧計測結果との比較

従来方式により地圧計測を行った地点において8成分ゲージを適用し、両者の地圧算出結果を比較検討したところ、表2-2-1に示すように良い対応を示した。これにより、8成分ゲージの実用性が検証された。

4-3 研究の成果

1本のボーリングで3次元地圧計測が可能な新しい地圧計測器の開発を昭和58年より始め、コンパクトで精度の良い8成分ゲージを開発し実用化した。

これにより、電研式地圧計測法は従来にも増して測定精度が向上し、また、従来3本必要だった測定用のボーリングが1本で良く、地圧計測のコストの大幅な低減が期待できることとなった。

8成分ゲージの実用化により、昭和60年度には石油地下備蓄基地など4地点で地圧計測が実施され成果を上げた。また61年度は2地点において現在実施中である。

なお、8成分ゲージは工業所有権を獲得するためにゲージの製作会社である(株)共和電業と共同で特許の出願(昭和61年3月24日付、No61-64207)を行い、今後幅広く用いられるようにした。

4-4 むすび

地圧計測結果が地下構造物の合理的な設計・施工に実際に用いられるようになって十数年が経過した。

また、今後の地下構造物(地下式水力発電所はもとより、将来の地下構造物である

放射性廃棄物の地層処分、石油地下備蓄、原子力地下立地、圧縮空気貯蔵、超電導電力貯蔵、その他の地下空間利用など)の設計・施工時にも地圧計測は必須の条件であり、電研式地圧計測法が将来にわたって幅広く利用されることが期待される。

電研式地圧計測法の本質的なアイデアは、当所経営調査室の林正夫博士に負うところが大きい。また、本手法の改善に対しては、東京電力(株)の上條 實所長(蛇尾川水力総建設所第二建設所)、当所我孫子研究所立地部地盤研究室の日比野 敏専門役および石田 毅主査研究員にご協力いただいた。

特に8成分ゲージの開発・実用化に当っては、東京電力(株)、関西電力(株)および中部電力(株)の関係各位に現地での試行の機会を与えていただいた。8成分ゲージの室内模擬実験の実施に際しては、電力各社のご理解のもとに電力共通研究として実施することができた。

地圧計測器の製作に当っては(株)共和電業、現地の計測では苦勞を共にした日特建設(株)、(株)日本パブリックエンジニアリング、応用地質(株)、(株)ダイヤコンサルタントおよび日本工営(株)の関係各位に大変お世話になった。

ここに記して謝意を表わす。 ●

5. 波浪による地形変化の新しい解析手法の開発

——環境調査の新技术法——

我孫子研究所 水理部 環境水理研究室 丸山 康樹

5-1 研究の目的

近年、海浜域は交通や生産活動の場として利用されるだけでなく、レクリエーション、景観等の貴重な環境資源としても認識されるようになってきた。

図5-1の航空写真(昭和55年10月撮影)は海浜変形の典型的な事例の一つを示したもので、写真上方の防波堤の築造に伴って海浜の砂が移動し始めた。このため、突堤の基部には堆積が生じ、さらにその南側の海浜は侵食を受けて消滅寸前の状態にある。

海浜変形とはこの例のように、港湾などの海岸構造物の建設が周辺の海浜へおよぼす様々な侵食・堆積現象を指す。

我が国の原子力、火力発電所は近年直接外洋に面した沿岸域に立地されるケースが増えつつあり、これに伴って港湾あるいは

取放水施設等の海岸構造物は大型化しつつある。このため、構造物が周辺の海浜へおよぼす影響を環境保全の立場から予測評価し、必要と判断された場合には適切な対策を構ることが重要な課題となってきた。

本研究は、このような情勢を背景として、海浜変形を予測評価するための数値シミュレーションモデルを開発・実用化したものである。

5-2 研究の内容

当所では、電気事業連合会の依頼を受けて昭和53年度から海浜変形予測手法の確立を目指した研究に着手した。

この間の研究の経緯ならびに内容について簡単に述べる。

I. 大型造波水路の建設と漂砂基礎実験

海浜変形現象を解明するためには様々なアプローチが考えられるが、波浪による砂移動現象(漂砂)、言い換えると、波によりどの程度砂が動くかを把握することがそれらアプローチの基礎となる。

こういった現象の解明には通常、実物を縮小した水理模型実験が使われるが、小スケールの実験では実際の現象との相似性を保つことが難しく、これが従来の研究の大きなネックとなっていた。

この隘路を打開するため、実物大の実験が可能な長さ205m、幅3.4m、深さ6mの大型造波水路を建設し、現地スケールの漂砂実験を実施することにした。

水路は昭和54年2月に完成したが、その当時は世界一の施設であった(現在はアルフト水理研究所の水路に次いで世界第二位である)。

実験結果は現地スケールの砂移動算定式としてとりまとめ、あるいはまた、他に類をみない貴重な検証データとして海浜変形予測手法の開発に活用した。

II. 現地観測機器の開発と現地調査

水理実験と並行して、現地海浜では実際にどのような現象が生じているのかを調査・解析することも海浜変形現象を解明するための重要なアプローチの一つである。

研究着手当時は、波が激しく砕ける沿岸域の厳しい環境条件に適合する観測機器が



大型造波水路

ほとんど無かったため、Xバンドレーダーによる波向観測装置、超音波式ならびに水圧式波高計、200mのケブラー製ケーブルを有する電磁流速計、およびその出力信号を現地海浜で記録するためのデータ処理装置搭載車など、様々な観測機器を開発した。

以上の機器により、これまで困難であった沿岸域の現地観測が可能となり、波や流れあるいは砂移動といった、海浜変形の諸過程の理解が格段に進歩した。

本研究のイメンテーマである海浜変形予測手法は、上述の知見を総合的に体系づけて構築したもので、その実用化には次の3段階のステップを踏んでいる。

1. 現象面での知見に基づく新たな理論および物理モデルの構築
2. 種々の適用対象を考慮した計算プログラムの開発
3. 予測値(計算値)と実際現象との比較による検証

以下に、海浜変形予測手法の開発、ならびに実用化に関して行ってきた研究成果を述べる。

5-3 研究の成果

I. 予測手法の種類と適用範囲

海浜変形を引き起こす原因は、発電所港湾等の海岸構造物の建設、河川から海浜に供給される砂の減少、あるいは浚渫等による砂の採集など様々である。また、海浜変形を現象の規模から見ると、時間的にも空間的にも様々なスケールのものが存在する。

このため、本研究では、「海岸線変化モデル」と「3次元海浜変形モデル」の2つのモデルを開発した。

時間スケールで1~10年程度、空間スケールで数kmから10km程度の長期間・広範

囲の海浜変形予測には、海岸線変化モデルを用いる。

これに対し、台風による高波浪などで海浜が一時的に沢壊する現象、あるいは海岸構造物周辺の局所的な洗掘と言った短期間・狭範囲の海浜変形予測には、3次元海浜変形モデルを用いる。

II. 海岸線変化モデル(長期予測モデル)

海浜変形の原因は上記のように様々であるが、砂の移動という面から考えると、いずれの場合も砂移動量のバランスをくずすために海浜変形が生ずる。

海浜における砂移動(漂砂)は、以下に述べるように海岸に沿って移動する沿岸漂砂と、これに直角な岸沖漂砂とに分類することができる。

1. 岸沖漂砂

岸沖漂砂は主に波浪の作用によって生ずる。波浪が弱いときには、砂は沖から岸へ運ばれて海浜に堆積し、暴浪時ではこれとは逆に砂は岸から沖へ運ばれ、海浜は侵食される。ところが一般に、波浪は季節的な変化を繰り返す性質があり、夏期では波は穏やかで、冬期では高波浪が多数来襲すると言った性質がある。

このため、長期間、例えば一年以上に亘って平均すると、岸沖漂砂による海浜変形は、侵食量と堆積量とが互いに打消し合ってバランスする。

2. 沿岸漂砂

沿岸漂砂は、波が海浜斜面上で砕けるときに生ずる流れ(海浜流)によって運搬される。海岸構造物がこの沿岸漂砂を遮断すると、砂移動量のバランスがくずれ、一方の側には堆積が生じ、砂の供給が絶たれる側の海浜は侵食される。この変化は非可逆的

であり、長期的に継続し、しかも非常に広範囲に及ぶ。

図5-1の海浜変形は、まさにこのようにして海岸構造物が沿岸漂砂を遮断したために生じた例である。

海岸線変化モデルは、以上のような長期的な海浜変形のメカニズムを注目して構築した実用的なモデルである。このモデルでは、図5-2に示したように海浜を沿岸方向に多数のセル(小区分)に分割する。

このセルに流入・流出する沿岸漂砂量を求め、その差から海岸線の前進あるいは後退量を算定して、長期間の海浜変形を予測する。

予測値は一本の海岸線の変化として示すことになるので、この意味から1-lineモデルと呼ぶこともある。

本モデルを実際の問題に適用する際には、次の3つのステップの計算を繰り返し、必要とする期間内の海浜変形を予測する。

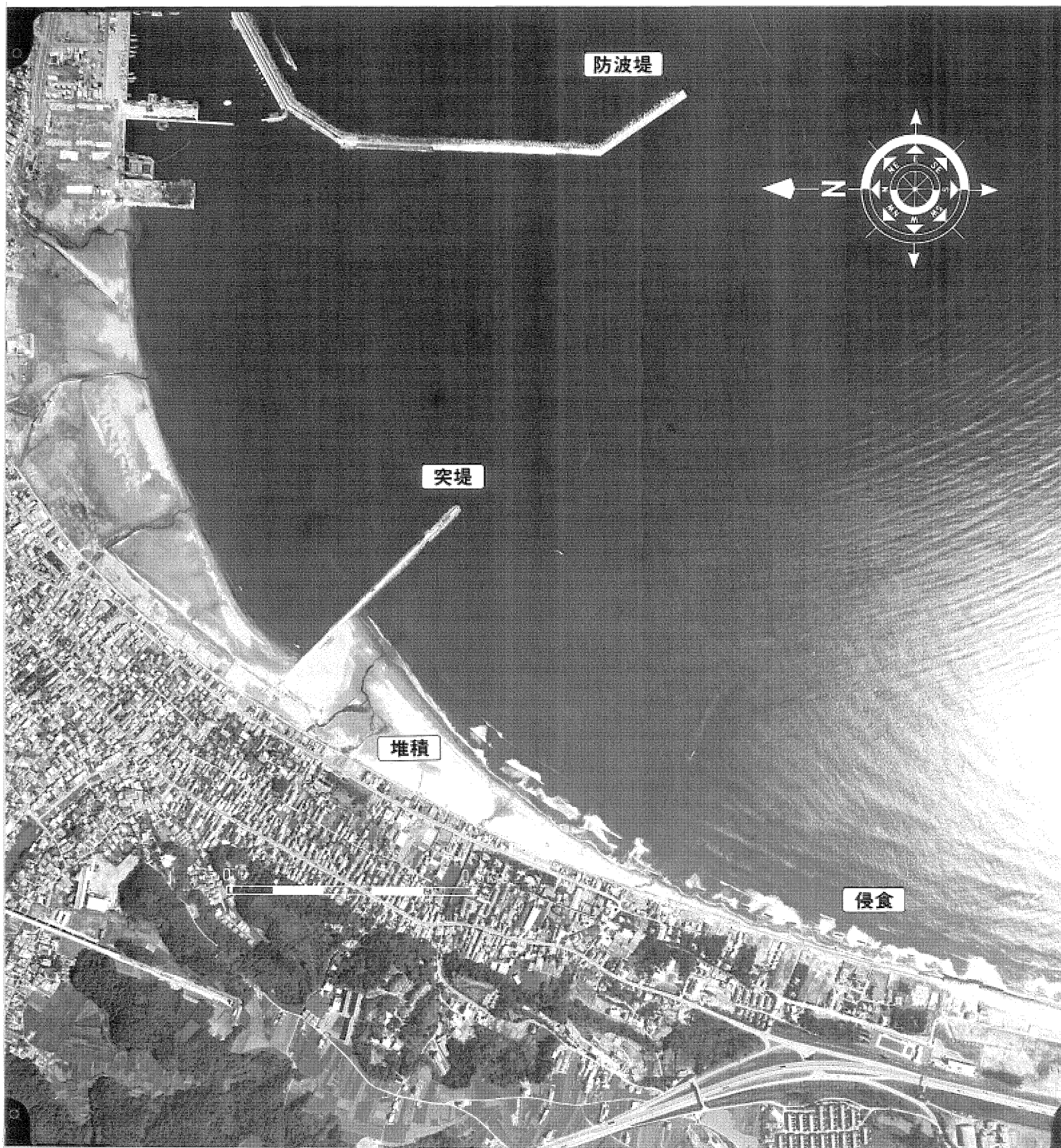
1. 海岸構造物周辺の屈折、回折、碎波と言った複雑な波浪変形の計算
2. 波浪エネルギーの計算と、それに比例する沿岸漂砂量の算定。周辺に河川がある場合は、河川流量および流速等から供給砂量の算定
3. 沿岸漂砂量(河川供給砂量)から砂の保存式を介して海岸線の前進・後退量の計算

図5-3は本モデルによる海浜変形の予測結果と実測値との比較による検証例を示したものである。

計算対象は、前出の図5-1に示した突堤より南側の海浜変形である。海岸線は図のように3ヵ年で最大約150m前進したが、本モデルによる予測値と実測値の対応は非常に良好である。

以上のように、海岸線変化モデルについては、前述した予測手法の実用化のための

図5-1 典型的な海浜変形の事例



3段階の検討を終了し、既に多くの電力固有地点の海浜変形予測に適用している。

Ⅲ. 3次元海浜変形モデル (短期予測モデル)

このモデルは、予測対象海域に対して波と海浜流の平面分布を計算し、局所的な波と流れの強さを漂砂量を結びつけて、砂移動量の保存式から短期間の海浜変形を予測する手法である。予測値は平面的な海底地形変化として得られることから、海底地形変化モデルと呼ぶこともある。

予測対象は前述したように台風等による短期間の海浜変形で、沿岸漂砂と同時に岸沖漂砂が問題となり、また現象が局所的なため、地形と波浪の相互作用と言った複雑な効果を評価する必要がある。

本研究では、岸沖漂砂による海浜変形の予測モデルを開発し、大型造波水路で得た現地スケールのデータにより検証を行い、3次元海浜変形モデルの実用化の目途を他に先駆けて得ることができた。このモデルでは、海底地形の詳しい変化を予測できるという利点がある反面、計算機容量および

演算時間が膨大になると言う実務面での制約が大きく、実際問題へ適用するにはモデルの一層の改良が必要である。

以上が研究成果の要旨であるが、ここで開発した多数の波浪計算手法ならびに海浜変形予測手法は、既に十数ヶ所以上の電力固有地点において、海岸構造物の平面配置計画ならびにそれによる周辺海浜の影響予測に貢献してきており、今後とも研究の一層の充実を図り、より幅広いニーズに答えたい。

図5-2 海岸線変化モデルの模式図

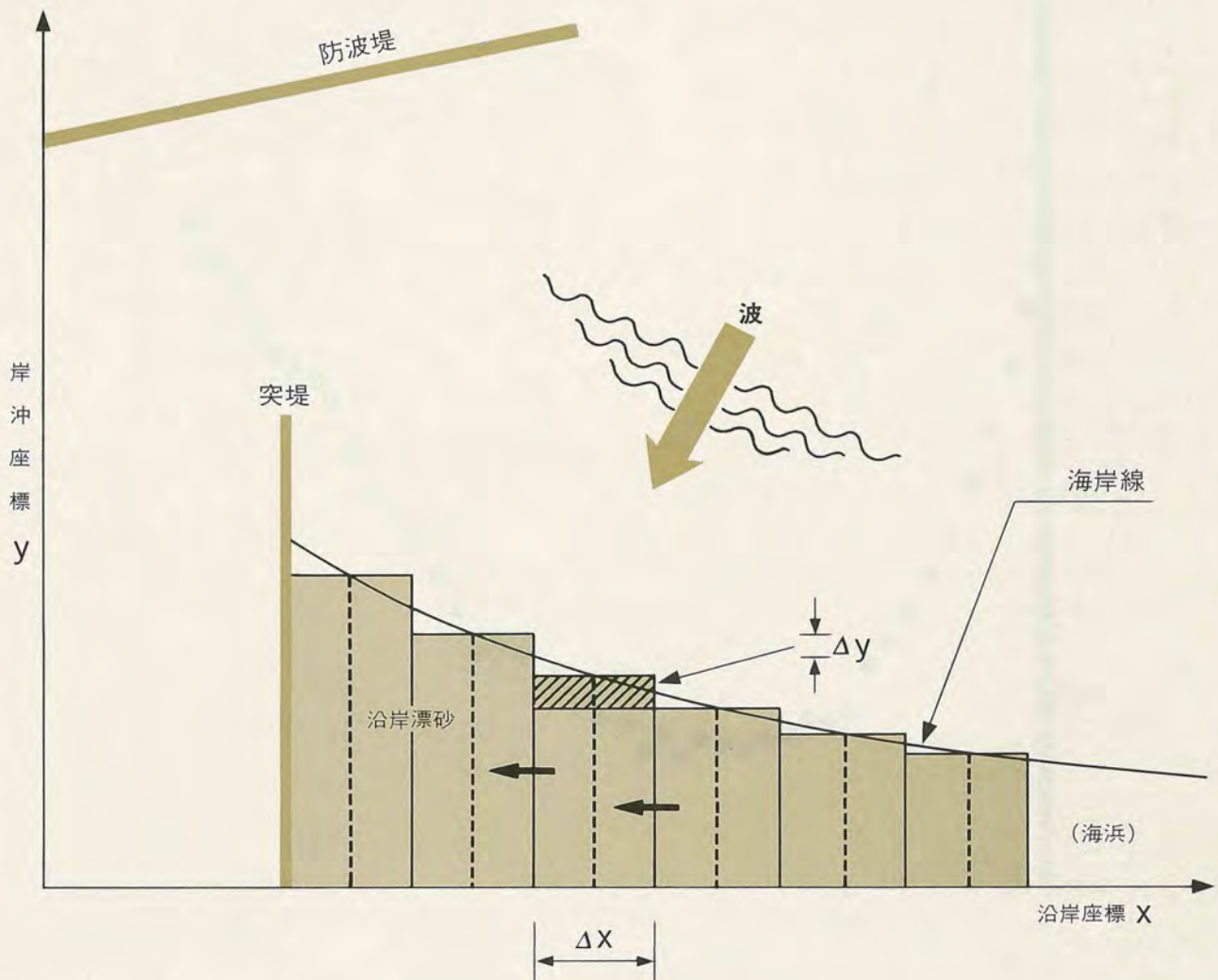
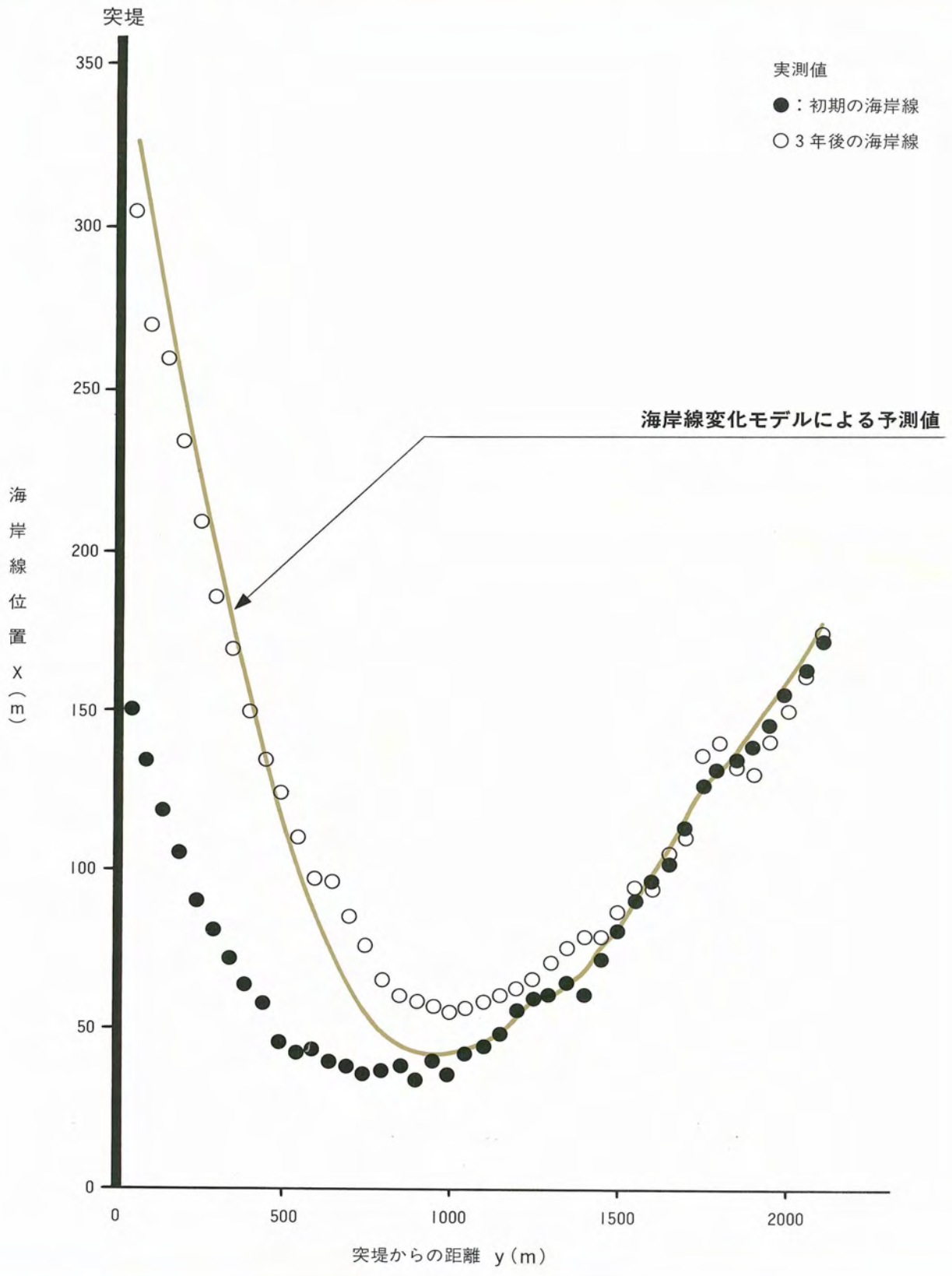


図5-3 海岸線変化モデルによる予測例



6. 大容量電力機器用合成短絡試験設備による新試験法の提案

——電力システムの拡充に対応——

横須賀研究所 電力部 大電流研究室 葛間 泰邦

6-1 研究の目的

電力システムを保護する遮断器が、万一、落雷などによる故障電流遮断に失敗すると、停電事故に波及するため、遮断性能の確実な検証が重要である。

特に近年は、遮断器の高電圧化、大容量化に加え、コスト低減、コンパクト化などの要請から、極限設計が進められているため、系統の状態を正確に再現でき、従来より高精度で信頼性の高い検証試験法の開発、適用が望まれている。

そこで、超高压大容量遮断器の電流遮断性能を、電力システムからの責務に応じ正確に検証できる設備ならびに試験法を開発するとともに、これを適用し、遮断器の高信頼度化、コンパクト化ならびにコスト低減に資し、電力輸送設備の信頼性向上とコスト低減を図ることを目的として、本研究を実施した。

6-2 研究の内容

I. 合成短絡試験設備の開発

系統保護に対して、最も重要な役割を受け持つ機器として使用されている超高压大容量遮断器は、動作機構の信頼性を高め、コンパクト化、コスト低減を追求するため、遮断点数の低減を図り、1遮断点当りの定格電圧として240 kV～300 kV、遮断電流として63 kAが指向されている。

このため、当所の大容量短絡発電機を中

心とする短絡試験設備を用いても、直接短絡試験、すなわち、同一電源から、所望の電圧、電流を供給して行う短絡電流遮断性能検証試験は不可能となってきた。

このため、所望の電圧と電流を各々別電源から供給し、等価的に試験する合成短絡試験によらざるを得ない状況に至っている。

そこで、短絡試験設備の大幅な機能増強を図り、ほとんどすべての超高压大容量遮断器の短絡試験を可能にすること、ならびに各種電力施設の広範な耐アーク特性の把握を可能とすることを目標に、大容量電力機器用合成短絡試験設備をメーカーと共同で開発した。

1. 構成と設備容量

前記設備は、短絡電流を供給する大電流源としては、既設の大容量短絡試験設備を使用し、系統回復時に印加される系統相当電圧を供給する高電圧源としては、新設の高電圧発生用コンデンサを主体としている。

本設備の開発により、これまでの当所の短絡試験設備容量を等価的に約18倍に高めることができた。

設備の基本的な構成と設備容量を図6-1に示す。

2. 設備の特徴

本設備の特徴は、各機器類を屋外に設置した、世界に類をみない屋外形大容量合成短絡試験設備であることと、最新技術の導

入により、従来の考え方に対し設備建設費の大幅な低減に成功したことである。

新しい手法と技術の代表的なものは、

- ① 多段式倍電圧方式
 - ② 屋外形ガス放電ギャップ
 - ③ 光伝送方式と大電流測定用高性能変流器
- などである。

例えば、②の合成短絡試験の成否を決める重要な役割を受け持つ放電ギャップは、電圧制御の容易なガス多段方式とし、始動には、円板状の中間電極に高電位の始動パルスを印加するディストーション方式を採用した、革新的な考え方による屋外形放電ギャップである。

このため、ギャップ封入容器は外部の影響を受けない二重構造とし、電極構成は長寿命化と動作の安定化のため、アーク回転方式を採用している。

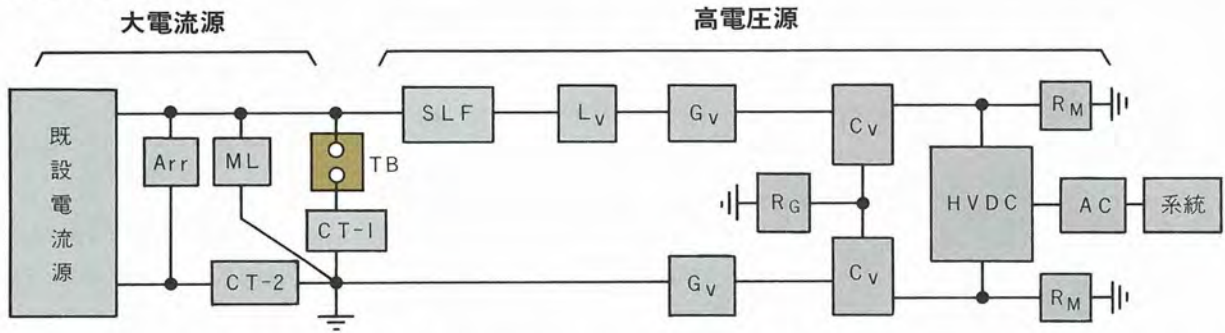
II. 4パラメータ表示による過渡回復電圧試験法の開発

現在、遮断器の規格は、日本国内規格としては JEC -2300が、また、国際規格としては IEC Pub. 56がある。

系統で短絡故障が発生した場合、遮断性能に大きく影響を与える過渡回復電圧は、定格電圧100 kV以上においては、系統構成に起因する複雑な波形となるため、前記規格においては、それらを集約包含し、図6-2(1)に示すような4パラメータ表示の波

図6-1 大容量電力機器用合成短絡試験設備

(1) 基本的回路構成



- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 既設電流源：短絡発電機 | 系統：6.6 kV |
| 短絡変圧器外 | AC：6.6 kV / 0~420 V |
| HVDC：直流発生装置 | R _M ：直流電圧測定用抵抗器 |
| C _V ：電圧源コンデンサ | R _G ：中性点抵抗 |
| G _V ：放電ギャップ | L _V ：電圧源リアクトル |
| SLF：近距離線路故障用模擬線路 | Arr：酸化亜鉛形避雷器 |
| CT-1：電流源電流測定用変流器 | TB：供試遮断器 |
| CT-2：電流零点検出用変流器 | |
| ML：アーク延長装置 | |

(2) 設備容量

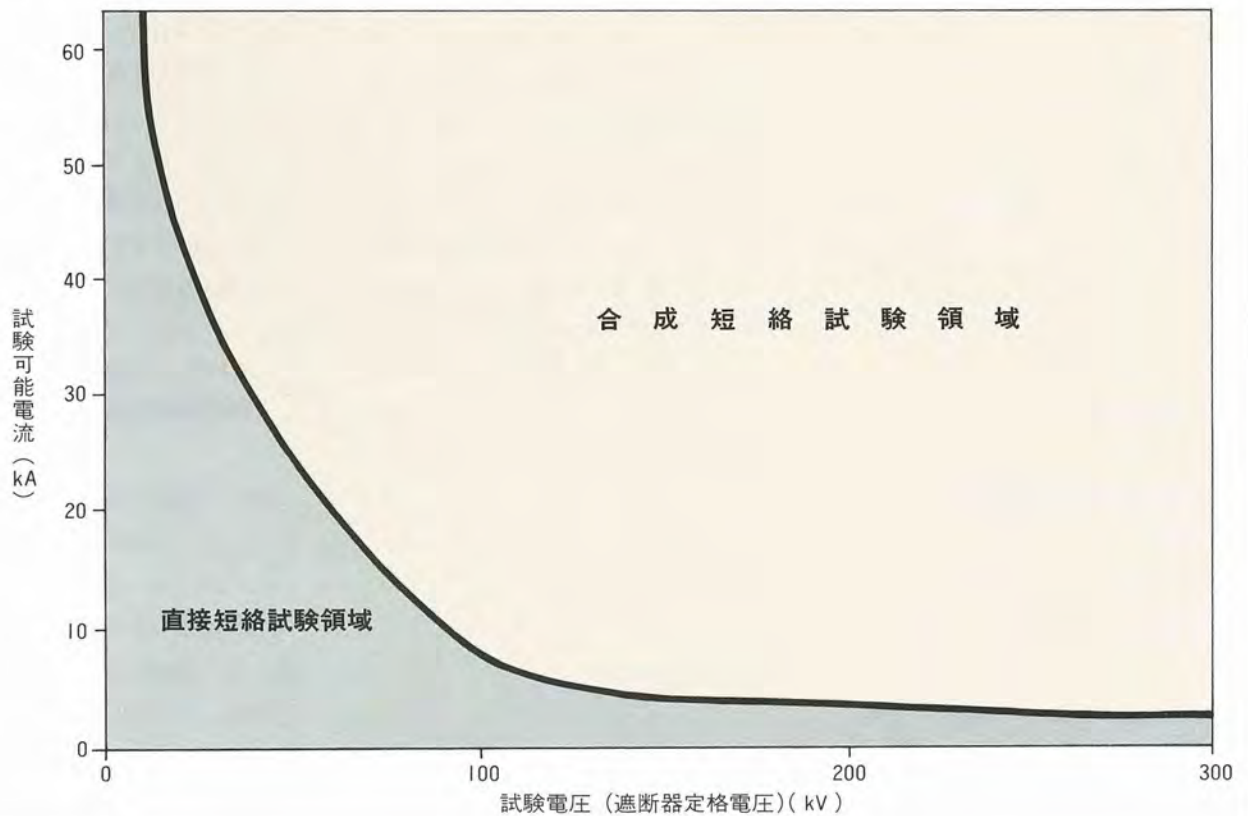
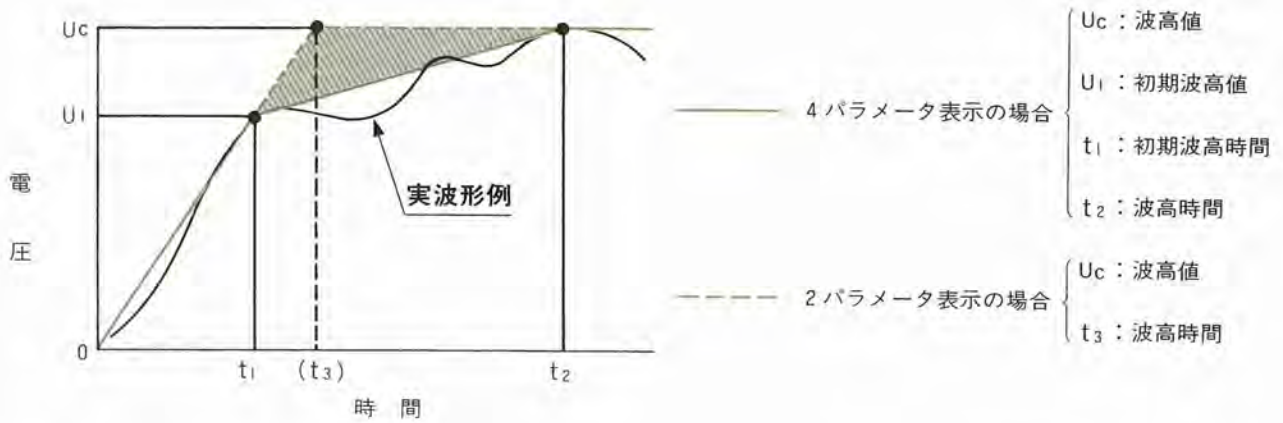
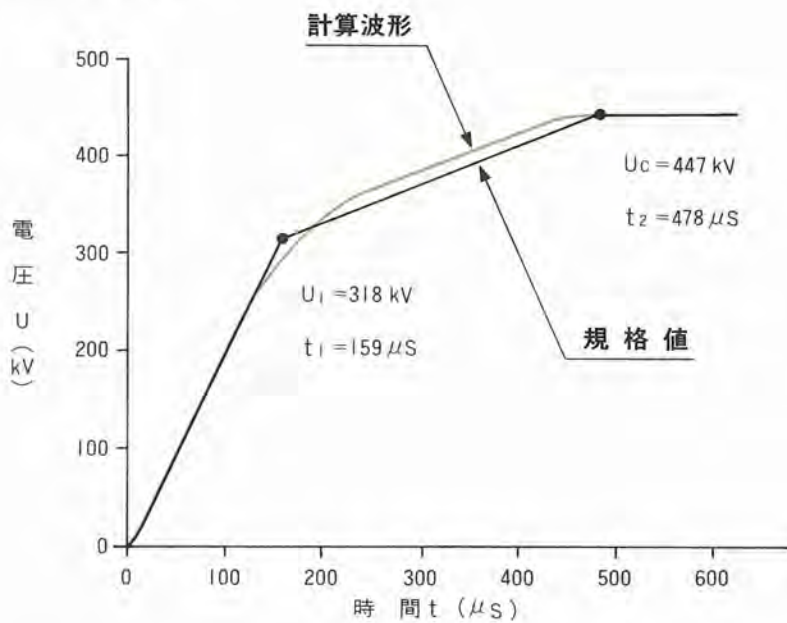


図6-2 4パラメータ表示の過渡回復電圧による試験法

(1) 4パラメータ・2パラメータ表示の比較



(2) 300kV、50kA計算波形



(3) 4パラメータ表示波形の簡易発生回路

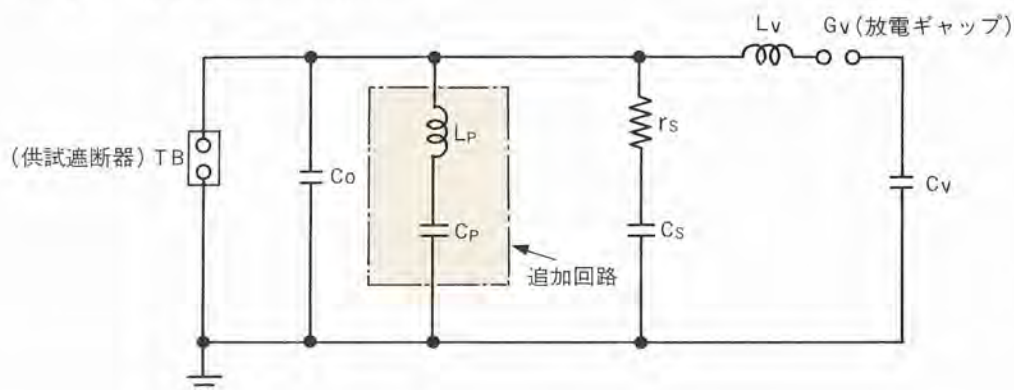
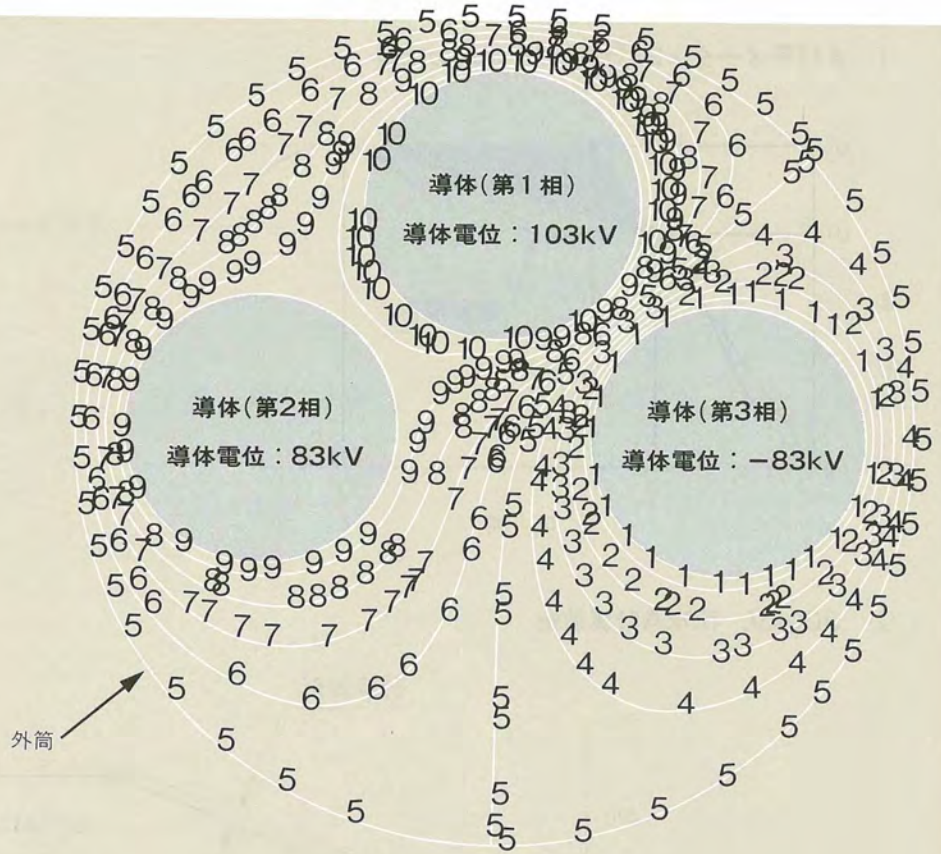


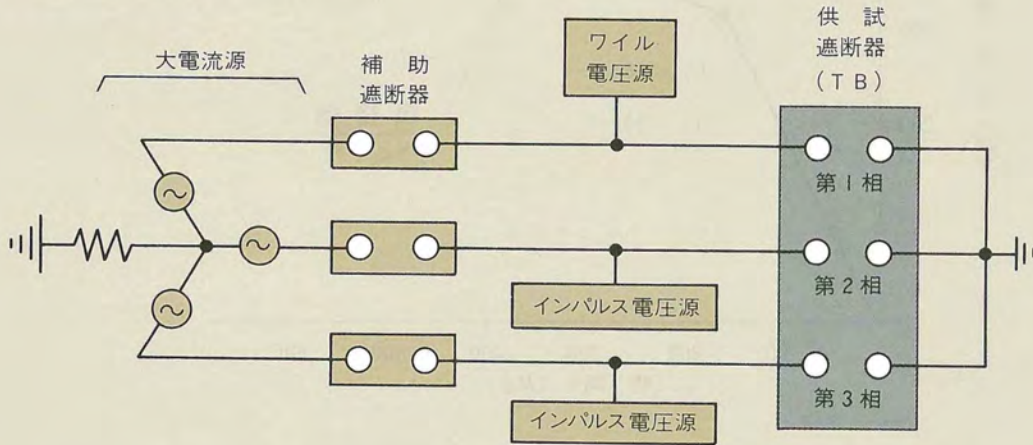
図6-3 三相一括形遮断器の試験法

(1) 遮断直後の電位分布

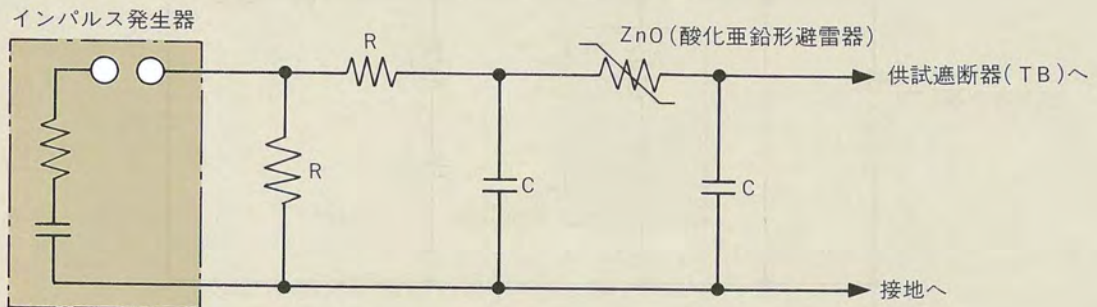
番号	電位 (kV)
1	-72.0
2	-54.0
3	-36.0
4	-18.0
5	0.0
6	18.8
7	36.0
8	54.0
9	72.0
10	98.0



(2) 三相合成試験回路



(3) インパルス電圧源の構成



形として規程している。

従って、遮断器の遮断性能を正確に把握し、効率的な試験を実施するためには、この4パラメータ表示の波形を簡易にかつ正確に発生させる必要がある。

そこで本設備に適用可能で、極めて単純な回路構成による4パラメータ過渡回復電圧発生回路による試験法と、その簡易計算法を提案した。

1. 回路構成

この回路は、図6-2(3)に示す様に、一般化されている2パラメータ表示の波形発生回路へ、直列 L_p (リアクトル)- C_p (コンデンサ)回路を並列に接続するのみである。

この直列 L_p - C_p 回路の付加は、4パラメータ表示の過渡回復電圧の初期波高時間 t_1 と波高時間 t_2 の間に100%端子短絡故障条件で3倍の比があることを利用し、電圧源リアクトルの2倍の値を有するリアクトル(L_p)を、2パラメータ表示の過渡回復電圧発生回路へ並列にそう入し、電圧源リアクトルと合わせ3倍の値が振動回路として形成されるようにするため、これと直列にコンデンサ(C_p)をそう入したものである。

2. 計算波形

この試験回路の構成素子の値は、遮断器の定格事項ならびに遮断試験項目などの一般的な情報から、容易に決定できる。

代表的なケースとして図6-2(2)に定格電圧300 kV、定格遮断電流50 kAの100%端子短絡故障試験について、EMTP(電算機解析プログラム)を用いて計算した結果と規格値の比較を示すが、両者は良い一致を示している。

また、実規模回路においては、各種の損失分などが考えられるので、理論的計算結果の妥当性と当所設備への適用について実証するため、実規模の試験を実施した結果、

極めて精微な所望の波形を得ることができ、当所の設備に十分適用できる見通しを得た。

Ⅲ. 三相一括形遮断器に関する 試験法の開発

最近のコンパクト変電所などに数多く適用される三相一括形ガス絶縁装置に使用される遮断器は、三相の遮断部が同一のタンク内に収納されている。

このため、短絡電流遮断中には、各相の消弧室からホットガスが噴出し、相間にも満たされる。このホットガスは、絶縁耐力が低下しているため、短絡電流遮断後に加わる回復電圧によって、相間絶縁が破壊する恐れも考えられる。

従って、三相のホットガスが相互に悪影響を及ぼさないように設計されているが、その検証については、通常の遮断器とは異なった試験法が必要である。

1. 電位分布計算

三相一括形遮断器の電位分布を、遮断直後の場合について、有限要素法プログラムを使用して解析した。その結果の一例を図6-3(1)に示す。

2. 回路構成

現在行われている各種試験法よりも、経済的かつ実用的な図6-3(2)の回路構成による試験法を考案した。

この試験法は、ワイル電圧源(送電系統相当の電圧源)としては、開発した大容量電力機器用合成短絡試験設備を、またインパルス電圧源としては、一般的なインパルス発生器を2台使用し、三相短絡電流遮断後に、三相ともに系統相当電圧を印加するものである。

このインパルス電圧源は、図6-3(3)に示すように、酸化亜鉛形避雷器の制限電圧特性を有効に利用し、系統相当電圧を得よう

とするものである。

6-3 研究の成果

1. 試験設備の大半を屋外形にすること、絶縁設計を合理化すること、ならびに制御系、測定系に光伝送方式を導入することなどにより、建設コストを従来方式に比べて1/3程度に低減した世界最大級の屋外形大容量電力機器用合成短絡試験設備を開発した。

2. 電力系統で発生する複雑な過渡電圧波形を、本設備により精度よく再現でき、かつ回路構成要素数が従来方式に比べ最も少なく簡易な回路構成による試験法を提案した。

3. 前記の成果を活用し、メーカーと共同により、従来形遮断器の余裕の大きい部分を切りつめるなどの改良方策を研究した結果、30%程度のコスト低減が可能な見通しを得た。

4. 最近のコンパクト変電所などに数多く適用される三相一括形ガス遮断器の性能検証試験法として、三相短絡電流遮断後に、三相へ個別に過渡電圧を印加する試験法を提案した。

今後は、この設備を活用し、各種試験法の一層の高度化を推進し、電力輸送の信頼性、経済性を向上させるとともに、電力機器の高機能化に貢献したい。

終りに本研究は、新素材研究室 泉 邦和 主査研究員、大電流研究室 植村 哲夫、合田 豊 各担当研究員と共同で遂行したものであり、また(株)高岳製作所の関係部署の御支援と御協力によるところ大である。

ここに銘記し、深く感謝の意を表します。●

7. プログラム自動作成システム SPACEの開発

——プログラマー不足を解消——

経済研究所 情報システム部 知識処理研究室 原田 実

7-1 研究の背景

電気事業は発電から配電にいたる一連の事業を行う総合事業であり、その経営を効率化するために料金計算、設備管理、工事管理、人事・労務管理などの膨大な事務処理プログラムを開発・運用している。

従来、これらの事務処理をコンピュータに行わせるには、図7-1上半分に示すように、先ず設計者が業務内容を詳細に定めた設計書を作成し、それを基にプログラマがプログラムを作成しコンピュータ上で実行していた。

このようにソフトウェア生産はほとんど人手に頼って行われ、他の製造業に比べ自動化が大変遅れていた。この結果、開発に

手間がかかり過ぎる、作成されたプログラムが設計書通りでない、設計書とプログラムの両者を矛盾なく維持管理するのに余分な手間がかかる、などの問題点があった。

このような状況では、これから益々高度化される情報化社会の進展に伴う膨大なプログラム開発の要求に対応できない。従ってプログラム開発の効率や信頼性を飛躍的に向上する、革新的技術の確立が強く望まれている。

このため当所は、図7-1の下半分に示すように、ディスプレイ上での設計書作成作業を支援するとともに、作成された設計書からプログラムを自動作成するシステム【SPACE (Specification Acquisition and Compiling Engine)】を開発した。

7-2 研究の目的

— SPACEのねらいと特徴 —

従来からあるプログラム開発効率化ツールは、プログラムと同内容のものをフローチャートなどの図で入力することにより、「処理内容の入力方法の視覚化—インタフェースの改善」をねらったものか、COBOLなどのプログラミング言語命令を使いやすい形にパターン(マクロ)化して「処理記述の簡素化」をねらったものかのどちらかであった。

これに比べSPACEはこの両方の点から、処理内容の入力方法を改善し、さらに入力された処理仕様から、プログラミング知識を用いてプログラムを自動的に生成する、革新的なプログラム開発効率化ツールである。

I. インタフェースの改善

先に述べたようにコンピュータに業務処理を行わせるためには、従来は図7-2の中心に示したような多種多様な業務特性を、すべてプログラムやJCL(ジョブ制御言語)などの1次元的な表現であるテキスト形式でコンピュータに入力し処理させていた。

これに対しSPACEでは、図7-2のまわりに示したような、業務の各特性を表すのに最も適した、2次元の図や表形式を持つ設計画面をディスプレイ上に表示させ、定められた表記法を持つ図形や文(以後設計パターンという)をこれに入力するだけで業務仕様を正確かつ簡潔に表現できるよ



図7-1 SPACEによるソフトウェア開発形態の刷新(SPACEの効果)

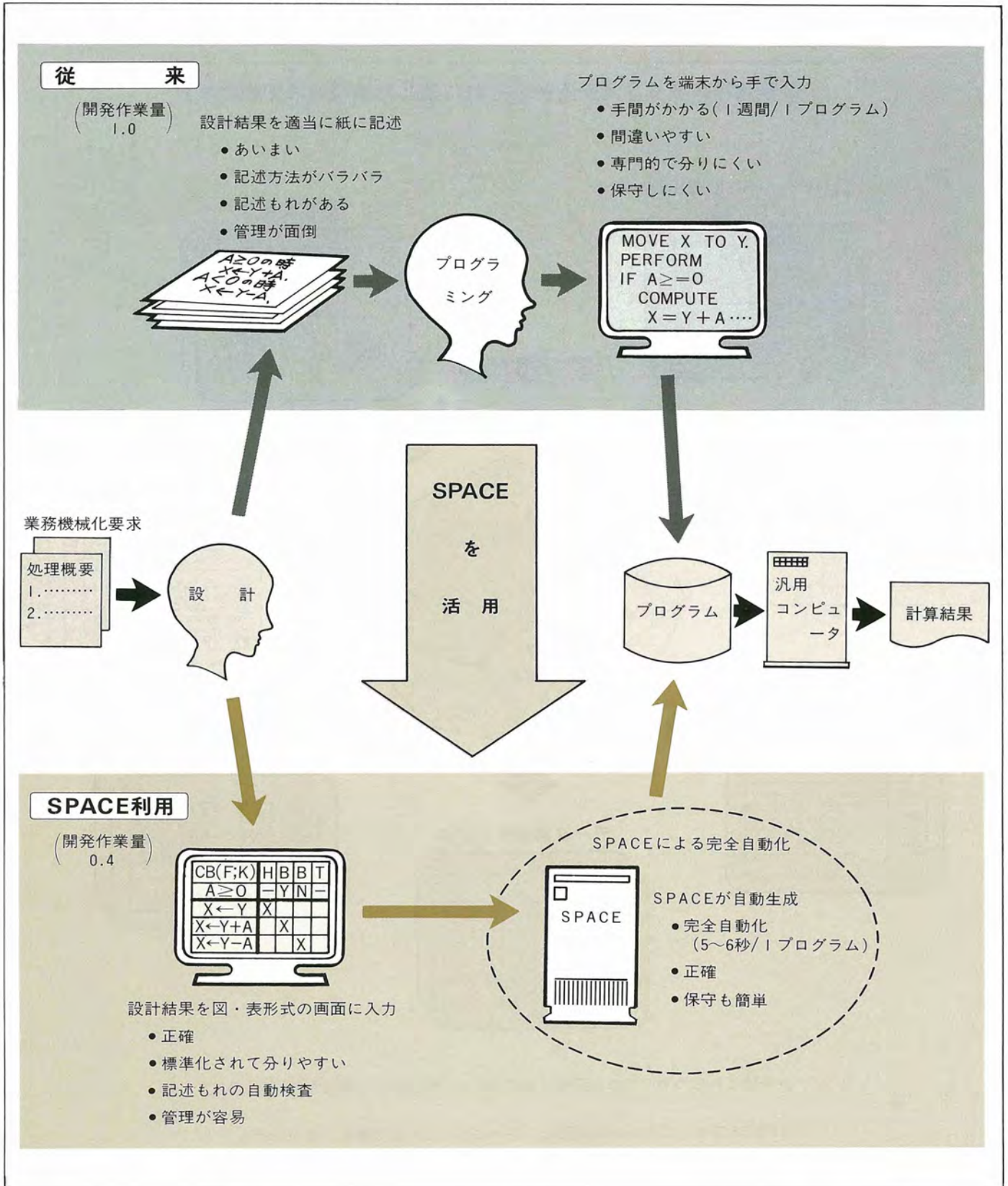
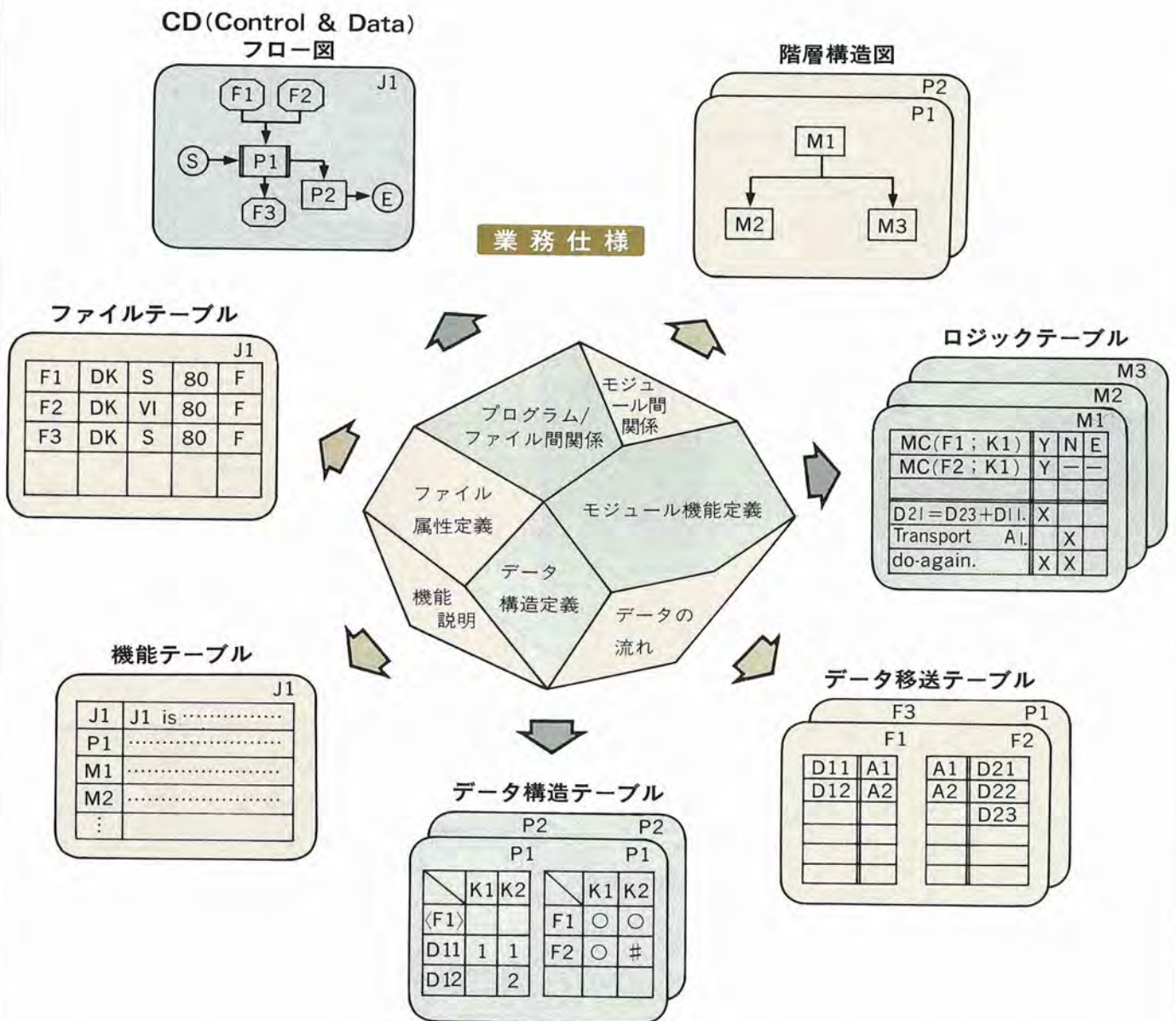


図7-2 SPACEの設計画面

業務仕様の様々な局面をそれぞれに適した表現方法で表わす!!



従来はこれらのすべての局面をプログラムとJCL(ジョブ制御言語)で記述していた。

SPACEでは、これらの各局面を、各々に適した方法で表すことができる。

うにした。

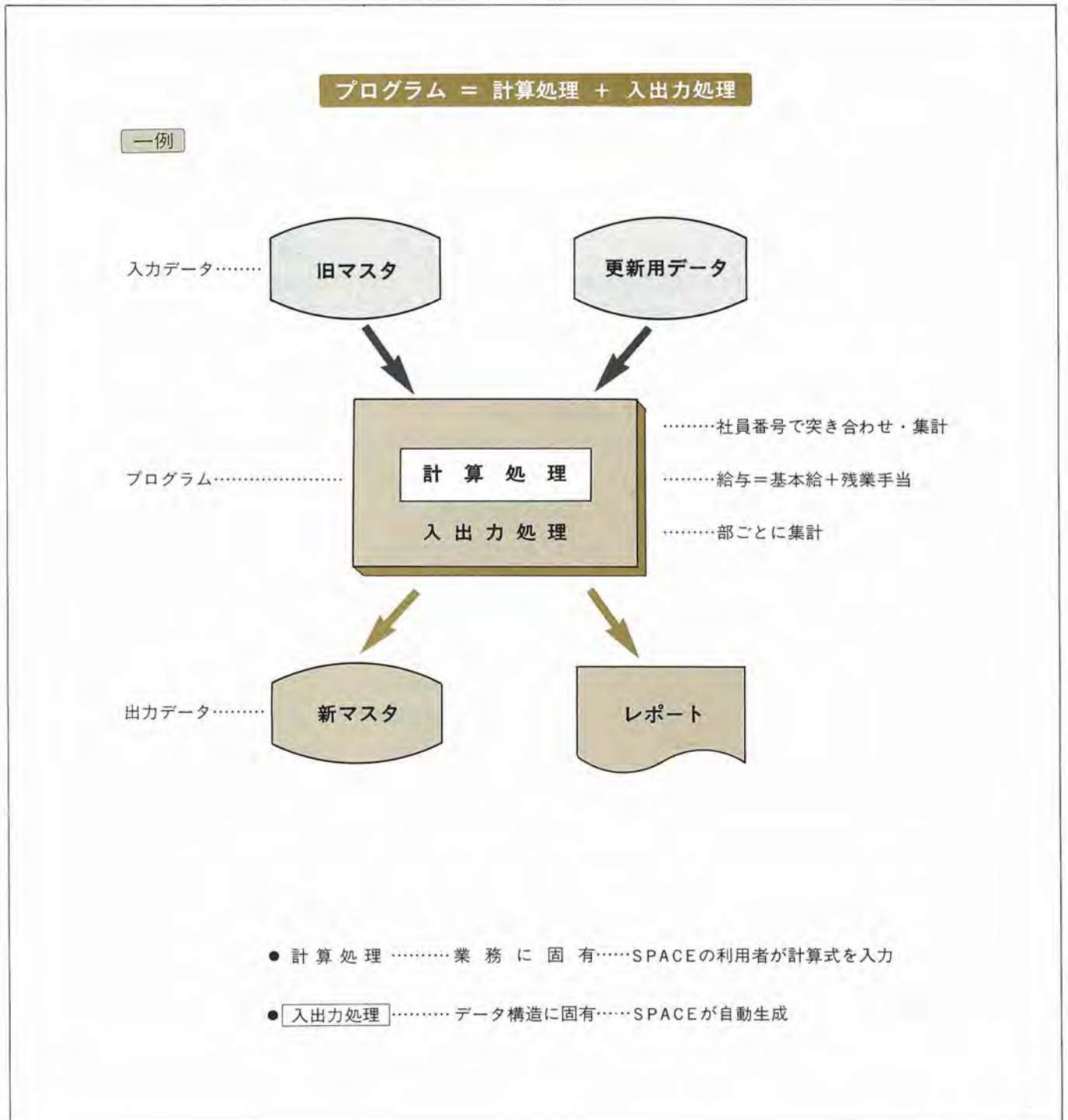
これによって、まず設計書を作成し、次にこれを基にコンピュータ用の言語命令を組合せてプログラムを作るやり方から、設

計パターンを組合せて設計書だけを作成するやり方へと、人間とコンピュータ間のインタフェースをより人間サイドに近づけることができた。

Ⅱ. プログラミング知識の共用化・自動化

例えどんなに人間向きのコンピュータ・インタフェースができて、これに入力す

図7-3 SPACEは主として入出力処理を自動生成する



る内容がプログラムと同程度ほど細かく複雑であれば利用価値は少ない。

一般にプログラムは図7-3に示すように計算処理と入出力処理から成るが、事務処理プログラムでは後者の割合が他の分野に比べ大きい。

また計算処理は業務ごとに異なるが、入出力処理は扱うデータの構造に依存するので、データ構造からこの部分のロジックを導き出すプログラミング知識を体系化・精密化すれば、これを自動的に生成することができる。

SPACE では、データ構造テーブルに記述されたデータの構造とロジックテーブルに記述されたデータ入出力条件から、プログラムの入出力処理を自動生成する。

7-3 研究の内容

—SPACE の利用方法—

ここでは、給与計算プログラムの作成を例にとって、SPACE の使い方を説明する。このプログラムは、『給与マスタ、残業ファイル、氏名ファイルの3つのファイルを入力し、給与計算処理を行って、給与マスタを更新するとともに、個人別給与リストをプリントアウトする』ものである。

I. 仕様作成

利用者は別に定められた設計手順に従って、ジョブをいくつかのプロセス(=プログラム)に分割し、さらに各プログラムをいくつかのモジュールに分割し、最後に各モジュールの処理内容を明らかにする。

この結果をSPACEに入力するために、図7-4の①～⑩に示したような、2図5表からなる設計画面に、与えられた設計パターンから適切なものをマウスやキーボードを使って選択し入力する。

以下に、図7-4に即して各設計画面の内容を記す

1. CD(Control & Data)フロー図

まずジョブをいくつかのプロセスに分割し、この結果を①の様なCD(Control & Data)フロー図に書き表す。

この例は『このジョブは実行を開始すると給与計算プロセスを起動し、このプロセスが終わると終了する。このプロセスは3つのファイルを入力し、1つのファイルと2つのレポートを出力する』ことを表している。

2. ファイルテーブル

②のファイルテーブルでは、このジョブで使われるファイルの諸属性を定義する。

3. データ構造テーブル

事務処理プログラムでは複数のデータ項目を繋げて1つのキーとして扱うことが多い。例えば、部No.と社員No.をプログラムの中で一組のキーとして扱いたい場合には、仮にK2という名前を与えて、③の左側のグループキー定義テーブルに記入する。

さらに③の左側のデータ構造テーブルに示すように、各ファイルがどのようなレコードグループ(グループキーが同じ値を持つレコード群)の繰り返しから構成されるか、例えば、『給与累計マスタは(部No.=K1が一定の)部の繰り返しから成り、部は(K2が一定の)社員の繰り返しから成る』を定義する。

4. 階層構造図

次にプロセスを、単一機能を行ういくつかのモジュールに分割し、結果を④の階層構造図に書き表す。この例は『2つのファイルを照合する給与更新モジュールが、一人分の残業手当を集計する残業計算モジ

ュールと部ごとの集計をとまなう一人分の給与の打出しを行う給与プリント出力モジュールなどを呼出しながら、給与プロセスの処理を行う』ことを示している。

5. 機能テーブル

⑤はこのジョブを構成するプロセスやモジュールの名前と説明を与える機能テーブルである。

6. ロジックテーブル

モジュールの機能は、決定表に改良を加えた⑥のロジックテーブル画面に記入する。ここでは計算やデータ出力などの処理要素、その実行条件および、処理と条件間の対応関係をそれぞれテーブルの左下のACTION部、左上のCONDITION部、右側のRULE部に分けて記述する。

このようにモジュール機能の構成要素の記述が独立で整理されているので素人にも分かりやすく、また修正もしやすい。

SPACEにはこれらの条件や処理を的確に記述できる設計パターンが豊富に用意されており、これらを組合せることによってどんな機能を持つモジュールも簡潔に記述できるようになっている。

⑥の例は、給与更新モジュール(Kyuyo-Kousin)の内容をロジックテーブルでどのように表すかを示している。このモジュールは、給与累計マスタと残業ファイルという2つのファイルを用い、社員各自の給与計算、部門ごとの集計、新給与累計マスタと明細リストの出力を行うものである。

そこで先ず2つのファイル内のK2キーの値が等しいレコード(つまり残業を行った社員)に対して残業の計算などを行う指定をするために、ロジックテーブルの上段左側のCONDITION部に2つのファイルのK2キーの比較条件を表す(当該キーの

レコードが有る無いに応じてY、Nの値を取る) MCパターンを書き、その右側のRULE部に両者のキーが等しい場合を表すために両MCが共にYの値を取る規則列R1を設ける。

この列の下段にこの場合にどの処理を行うかを、例えば『残業計算モジュールの呼び出し(A1)、新給与累計の計算と出力(A3、A4、A5)、給与明細リストの出力(A6)を行う』をそれぞれ対応する処理行に実行指示記号“X”を入力して示す。

この様なモジュールの実行条件の評価と個々の場合における処理の実行は、A9のdo-again文が示すように給与累計マスタと残業ファイルが共にEofになる(規則R6)まで繰り返す。

この例で分かるように、照合処理を行うモジュールの機能記述に通常必要とされるレコードの読み込みやキーのバッキング、更新などのモジュールの各実行状態の設定処理は、SPACEが自動生成するので記述する必要がない。

この様な設定処理は従来コンピュータで業務を処理するが故に必要な処理であり、これらを行くかプログラムがノウハウであった。SPACEはこのようなノウハウを内部に持っているため、利用者は業務固有の計算処理のみを記入するだけで望みのプログラムを得ることができる。

7. データ移送テーブル

⑦はデータ移送テーブルで、プロセスで行われるデータ項目間の具体的なデータ転送処理に2文字の名前を与えて、ロジックテーブルでそのデータ転送処理を簡潔に記述できるようにしている。

例えば⑥の処理A4で用いられたデータ移送記号A1が、給与累計マスタの部No.から新給与マスタの部No.へのデータ移送であることを示している。

II. 仕様検査

仕様作成が終わったならば、チェックメニューを選択し、表現方法は正しいか、仕様は完全か(記述に漏れや矛盾はないか)などを検査する。誤りを指摘されれば仕様を訂正し、誤りがなくなるまでこれを繰り返す。

表現ミスがあった場合には、⑥のA6やA7のようにその行が網がけで表示される。実際、処理A6ではEXECをEXACとタイプミスしており、処理A7では実行指示が1つもない。

c-checkメニューを指定すると、重複指定されている規則が太字で、また未指定の規則が反転状態で表示される。

例えば⑧では、規則R1からR4までを指定した時にc-checkメニューを指定した結果、R5が太字表示され、R6からR7が反転表示された。(注：図中の*はN又はEを、一はY、N、又はEを表す)。これによって設計の漏れや矛盾を早期に発見することができる。

III. コード生成

検査が終了すると、⑨に示すコード生成画面でExecボタンを押すと、プログラムが生成される。これはSPACEの中に、設計書の読み方とプログラムの作り方の知識が格納されているからで、ここに用いた例では、先程の設計書から、⑩にその1部を示したような約1100行のCOBOLプログラムが生成された。

IV. コード転送とコンパイル・リンク・実行

最後に、生成されたJCLとプログラムをホスト計算機に転送する。さらに、転送されたJCLを使って、同じく転送された

プログラムをCOBOLプログラムとしてコンパイル・リンク・実行を行う。これによって業務が実際に処理される。

7-4 研究の成果

SPACEを利用すれば次のような効果を期待できる。

1. 従来1本当たり1週間程度かかったプログラム作成が数秒程度で自動的に行えるので、開発期間を大幅に短縮できる。
2. 標準化された綺麗な設計書を手軽に作成でき、しかも設計レベルで論理的な漏れや矛盾を検出できるので、生成されたプログラムの信頼性が高い。
3. 設計書のみを維持管理すればよく、また設計書はプログラムリストに比べ理解しやすいので、保守作業が大幅に軽減される。

以上の改善効果を現状プログラム開発形態と比較した結果、現在の開発コストの約60%を削減できる見通しを得た。

現在SPACEを当所や関連会社において実用に供することを検討中であり、又、(株)東芝および東芝エンジニアリング(株)と特許の実施契約を結び今春より第1バージョンが製品化される予定である。

今後、データベースやオンラインプログラム用設計パターンの追加や日本語記述の導入などの改良を予定しており、通産省の指導によって1990年に向けて全国に普及すると思われるΣワークステーションで稼動する事務処理プログラム自動作成システムとして、十分な効果を発揮できると期待されている。

図7-4 SPACEを使って典型的な事務処理プログラムを作成した時の設計画面の記入例(その1)

① プロセスとファイル間のデータの流を表わすC Dフロー図

⑤ プログラムやモジュールの機能説明を表わす機能テーブル

SPACE CD_FLOW

GENERATE L

FUNCTION DESCRIPTION TABLE

Kyuyo

parse ON	error ON	search	load	save	
T					
T	NAME	DESCRIPTION			
J	Kyuyo	Kyuyo_Master to Zangyo_File wo syougousi, Tougetukyuyo wo shain gotoni insat usuru. Doujini Kyuyo_Master mo kousinsuru.			
P	Kyuyo	Doujyou.			
M	Kyuyo_Kousin	Kyuyo_Master to Zangyo_File wo syougousi, Kyuyo_Master wo kousinsuru.			
M	Zangyo_Keisan	Syain gotoni tougetu no zangyoteate wo syuukeisuru.			
M	Kyuyo_Output	Kyuyo_List wo uchidasu. Konotoki bu gotono syuukei to heikin mo okonau.			
M	Zangyo_Kensa	Zangyo_File no record no error-check wo okonau.			
M	Error_Output	Error-message wo uchidasu.			
M	Kai_Page	Kyuyo_List to Error_List tomoni 50lines=1page tosi, Hedda wo tuku.			

FILE DEFINITION TABLE

Kyuyo

parse ON	error ON	search	load	save	
FILE ID	COPY LIBRARY	DEV	DATA SET NAME		FILE ACC REC REC BLK
Kyuyo_Master	KYUYOMAS	DK	Q5006.PDM.DATA(KYUYOMAS)	S S F 80 20	
Zangyo_File	ZANGYO	DK	Q5006.PDM.DATA(ZANGYO)	S S F 80 20	
Jinji_Master	NAMEFILE	DK	Q5006.NJINJI.KSDS	VI R F 80	
Sin_Kyuyo_Master	NEWMASR	DK	Q5006.PDM.DATA(KYUYONEW)	S S F 80 20	
Kyuyo_List	KYUYDLST	LP		S S F	
Error_List	ERRLIST	LP		S S F	

SPACE MODULE_STRUCTURE

GENERATE L

DATA STRUCTURE TABLE

GROUP KEY DEFINITION

Kyuyo/Kyuyo

load	parse	error	check	search				
save	ON	ON						
KEY-ITEM	GROUP-KEY							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
<Kyuyo_Master>								
BU_NO	1	1						
SHAIN_NO		2						
<Zangyo_File>								
Z_BU_NO	1	1						

DATA STRUCTURE DEFINITION

Kyuyo/Kyuyo

load	parse	error	check	search				
save	ON	ON						
FILE-NAME	GROUP-KEY							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Kyuyo_Master	0	0						
Zangyo_File	0	#						
Jinji_Master			M					

② ファイルの諸属性を表わすファイルテーブル

③ グループキーの定義とデータ構造の指定を行うデータ構造テーブル

④ プロセスを構成するモジュール間関係を表わす階層構造図

本部／経済研究所 東京都千代田区大手町1-6-1 ☎(03)201-6601 ☎100
我孫子研究所 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎(0471)82-1181 ☎270-11
赤城試験センター 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567 ☎(0272)83-2721 ☎371-02

狛江研究所 東京都狛江市岩戸北2-11-1 ☎(03)480-2111 ☎201
横須賀研究所 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎(0468)56-2121 ☎240-01
UHV塩原実験場 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎(0287)35-2048 ☎329-28

編集後記

電研レビュー第16号「独創研究の紹介」をお届けします。

本号では「巻頭言」を日本原子力発電株式会社 取締役副社長 田中 好雄様にお願いしました。ご多忙中にもかかわらず快くご寄稿いただき、心からお礼を申し上げます。

本号は、当所の最近の主要研究成果の内容をダイジェストにとりまとめたものです。是非、ご一読をお願いします。

本号では計7件の研究成果を紹介しており、バラエティに富んでいます。少ない紙面でこれだけ多様な内容を的確に伝えるのはなかなか難しいことで、通読するのはちょっと骨が折れるかもしれません。

【難しい研究内容をわかりやすく簡潔に伝え、成果が現実に活かされるための一助とする】、これは、電研レビューを編集し

ている私達広報部の重要な仕事の一つであります。

エネルギー分野の第一線で活躍中の皆様にお届けする電研レビューにおいても、見出しのつけ方や図表のレイアウトなど、色々と工夫をこらしていますが、とりわけ、一般の方々への研究の紹介となると一苦労です。たった一つの専門用語でつまづいてしまうこともあります。

●「ウケる研究」と「ウケない研究」●

当所では、こんな悩みを解消する一手段として、昭和58年度から広報コンパニオン制度を設け、一般の団体見学者の方を中心に、狛江、我孫子、横須賀の各研究所及び赤城試験センターでの見学案内を行っています。

小学生から大学生までの学生はもとより、地域の婦人団体や老人団体の案内などで、3人のコンパニオンが「親しみやすく、わかりやすく」をモットーに、研究の紹介に活躍中です。

そのコンパニオンによれば、説明していても「ウケる研究」と「ウケない研究」があるとのことでした。

相手にもよりますが、「ウケる」つまり興味をひく、親しみを覚えるのは、やはり、実験が派手で面白かったり、日常生活に身近な研究ということでした。

本号で紹介している野菜工場などは、一般から専門家にまで、常に注目を集めている見学設備です。それだけに、見学の申し込みもひっきりなしで、担当の研究員や見学の窓口である業務課、もちろんコンパニオンも応待にてんてこまいです。

しかし、地味で目立たず、一般の人には難解な「ウケない研究」の中には学術的、技術的にも優れており、電気事業や社会にたいへん役立つ研究が数多くあります。

あらゆるタイプのよい研究をさまざまな角度から総合的に判断して、それを誤らず評価し、育て、社会と電気事業に貢献していくこと、今後も私達、電力中央研究所は、この目標に向かって全力をつくしてまいります。 ●

IR