

## 関西電力(株)との共同研究による発電プラント

# 30 kW 燃料電池発電プラント発電システム(制御・計測)

## Power Plant Control System and Instrumentation

谷口善貞 \* Yoshisada Taniguchi · 古沢 明 \*\* Akira Furusawa · 野木俊秀 \* Toshihide Nogi

### I. システム開発の必要性

燃料電池が、効率・環境安全性など多くの面で優れた特性を有していることは広く認められている。しかし電力供給という面からこれを見た場合、その実用化のためにはその優れた特性を生かせるように発電プラントとしてまとめるトータルシステム技術が完成されている必要がある。燃料電池の場合、電池という名称から、燃料を片側から入れると他端から電気が出てくる簡単なバッテリーのような物を想像されがちである。しかし実際には天然ガス等の原燃料から脱硫、改質、高温及び低温一酸化炭素変成などの化学反応によって水素を作り、これを電池に供給し発電すると同時に、電池排ガスの持っている残エネルギーを改質反応部に還元利用したり、これらの化学反応を適切な温度に保つため各機器間で複雑な熱交換を行う必要があり、本質的に通常の火力発電プラントより高度なプラント全体としてのトータル制御システムが必要とされる。

しかもこの面での開発は世界的にみてもまだ満足すべき状態にあるとは言い難く、ましてや我が国においては本プラント計画時点ではその重要性さえ必ずしも十分認識されているとは言えない状況にあった。しかもこのトータルシステム技術は、今後我が国で燃料電池発電プラントを実用化するためには不可欠のものであり、早急に独自技術を確立する必要があると考えられた。

このような認識の下に、本プラントの開発にあたっては、燃料電池での発電データを得ることと同様、又はそれ以上の比重で、ダイナミック特性まで含めて燃料電池プラントが、電力供給源として、どのような形で使用できるのかの見通しのためのデータを得ること、並びに燃料電池の特性にあった制御・保護システムを開発することも目的の中に含め、鋭意その開発に力を注いだ次第である。

今回、富士電機川崎工場におけるフルプラントテストにおいて、我々の開発したこのシステムが所期の目的を十分達成することが実証されたので、ここにその概要を報告する。

### II. プラント計画の基本的な考え方

上記の目的を達成するため、本プラントの計画にあたっては次の二つを基本方針とした。

- (1) 原則として小容量であるため、構成上の簡略化は行わないものとし、開発する制御・保護・自動化などの諸システムが将来の実用化プラントの設計に役立つものとなるようにする。
- (2) 800°C 近い高温で反応している化学装置の負荷を、電力の需要に応じて秒オーダーで急変させるのは我が国では初めての試みなので、安全性確保を第一とし、ソフトウェア的には無人運転を可能とする監視保護機能・自動化機能を持たせるとともに、ハードウェア的にも検出操作端の二重化を行うなど万全の策をとる。

### III. 制御・計測系からみた本プラントのシステム

制御・計測システムはいずれも相互に関連しているが、説明の都合上、本プラントの諸システムを分類してみると次のようになる。

- (1) プラントトータル制御システム
- (2) プラント保護・監視システム
- (3) 自動起動・停止システム
- (4) 計測・記録システム

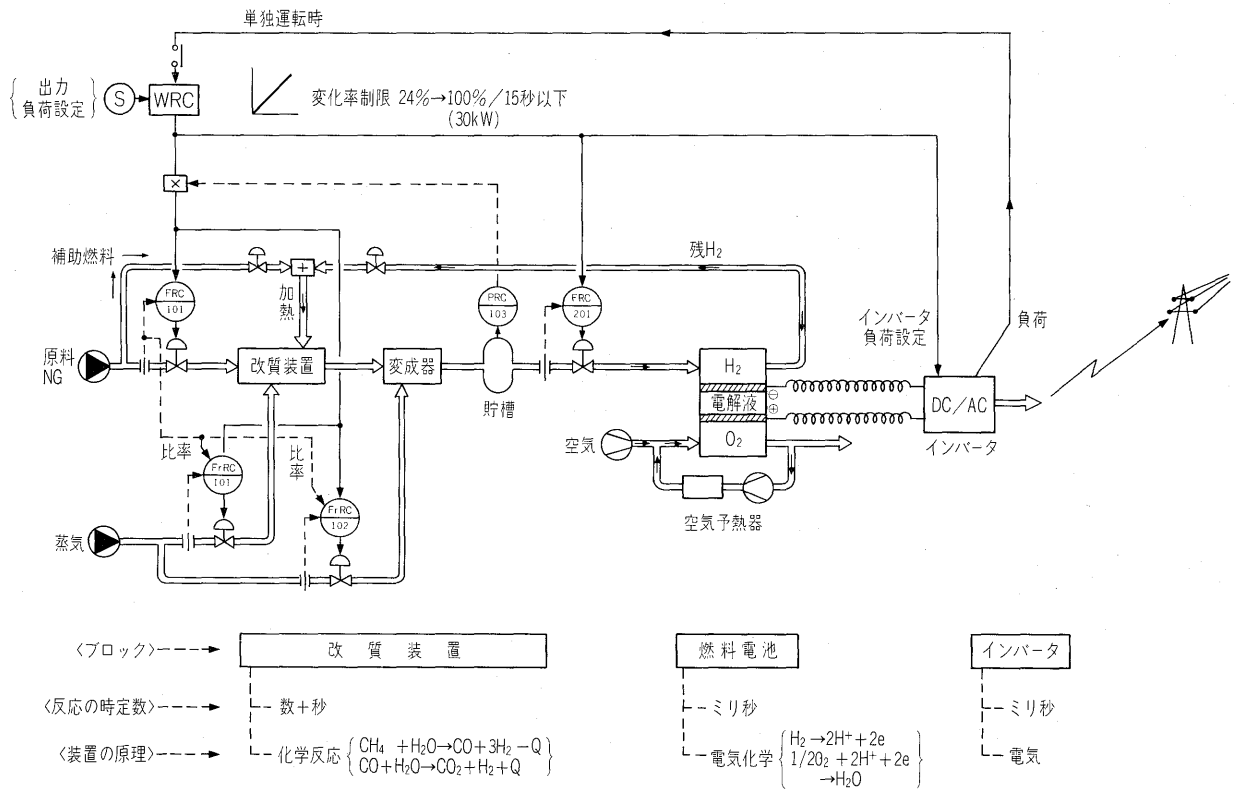
以下、各項目ごとに説明する。

### IV. プラント制御

燃料電池は発電装置として応答が速い(0.1秒以下)、負荷範囲が広い(0~100%)などの優れた特徴をもつので、プラント制御に当たってはこの特徴を生かすような計画設計を行った。

この発電プラントの大きな構成要素である改質装置、燃料電池、直流・交流変換装置のうち、直流・交流変換装置は応答速度、負荷範囲において燃料電池と同程度であるが、改質装置は化学反応プラントであり、一般的には応答速度は遅く(数分程度)、負荷範囲も狭い(定格~30%程度)。そこで、改質装置の応答速度の向上、負

\* 技術企画本部 燃料電池部 \*\* 工業・計測事業部 計測技術部



第 1 図 燃料電池発電プラントの制御

Fig. 1. Control system of fuel cell power plant

荷範囲の拡大が今回のプラント制御の大きな目標となった。

第 1 図に燃料電池発電プラントの制御システムを示す。応答速度を向上させるために、改質装置各部の流量制御へは、発電出力設定器から一括して同時に設定信号を送り、全体の制御応答速度の向上を図った。また燃料電池入口の燃料制御、直流・交流変換装置の負荷設定へ同時に信号を送り、発電システムとしての各部のバランスを早く取る制御方式をとった。改質装置と燃料電池の偏差分については中間の燃料貯槽の圧力で修正しており、燃料電池と直流・交流変換装置間の設定の微小差については、燃料電池の許される範囲の水素消費率の変化で自律的に修正している。

負荷範囲の拡大については、プラント本体の設計考慮と同時に低い負荷まで制御できるバルブの選定使用と、低い負荷でも精度を落とさず制御演算ができるデジタル調節計を使用して対応した。

改質装置の温度制御は、内部の触媒化学反応の維持に重要な意味を持ち、負荷範囲が変動しても温度は一定に保ち、変動幅を小さくする必要があるので、このために負荷変動要因に対してはフィードフォワード制御を行い、制御性の向上を図った。また、改質装置各部の圧力制御も同様にフィードフォワード制御を行っている。

この発電プラントでは、電池ですべての水素を消費せ

ず、残水素を改質装置に戻し、触媒反応の温度維持に使用している。今回は将来の大容量発電プラントにスケールアップした場合のことを考慮し、改質装置の温度維持には原料をバイパスした補助燃料も使用し、温度制御の依存先を、電池の排出する残水素だけではないようにし、改質装置と燃料電池の運転状態の自由度を増加したプラントになるよう計画した(特許出願)。

これらの実験結果については、VIII章を参照願いたい。

### V. 保護システム

この発電プラントは将来の発電システムとして手軽にかつ有効に利用できるよう、無人運転可能なシステムとして開発した。このために装置及び制御システムと協調した保護システムを、下記の点に留意して設計した。

#### 1) 測定検出部の二重化

制御用検出部と保護システムの検出部の二重化を行い、更に重要点は多重検出を行い、安全性を向上させた。

#### 2) 操作端の二重化

制御用のバルブとは別に非常用の止め弁を設け、停止方向への確実性を期した。また非常止め弁は 1 か所ではなく、燃料系、空気系とも、数箇所に設置し、系内を分割して閉鎖し、停止時の可燃性ガスの系内から外へのパージ時間を短くし、安全性の向上を図った。

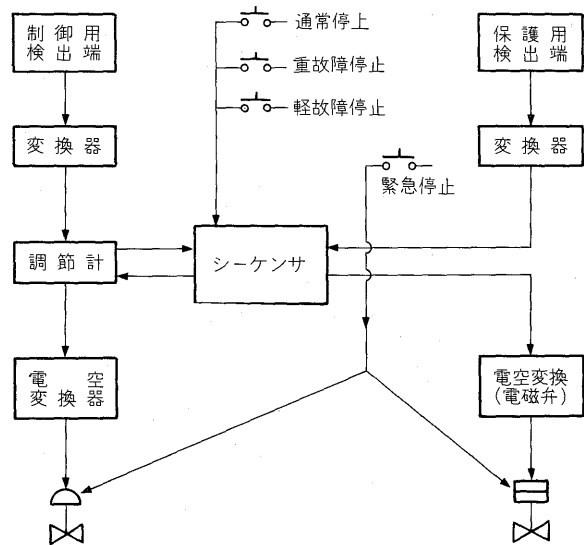
#### 3) 停電時に対する対策

停電時にも安全に停止するように無停電電源装置を用意し、停止シーケンスを確実に実施して、安全停止ができるようにした。

4) 緊急停止系による異常停止系のバックアップ

この発電プラントは、異常を検出すると異常原因に対応してもっとも適した方法で停止する。すなわち重故障パターン、軽故障パターン、起動時パターンを用意して、シーケンサに各プログラムを格納していて、原因に応じ最適の異常停止パターンで停止する。

今回はこれ以外に、更に安全を期して各非常止め弁、制御弁の制御空気元圧を直接落とすことにより、機械的



第2図 制御・保護動作系統図  
Fig. 2. Control and shutdown system

に弁を閉又は開の安全側にする緊急停止系を用意した。これは上記の異常停止系に優先して作動するものである。

また当然のことではあるが、電源断になった時又は空気源断になった時の制御弁は閉又は開の安全側になるように選択してある。

なお、実プラントの結果は VIII 章を参照願いたい。

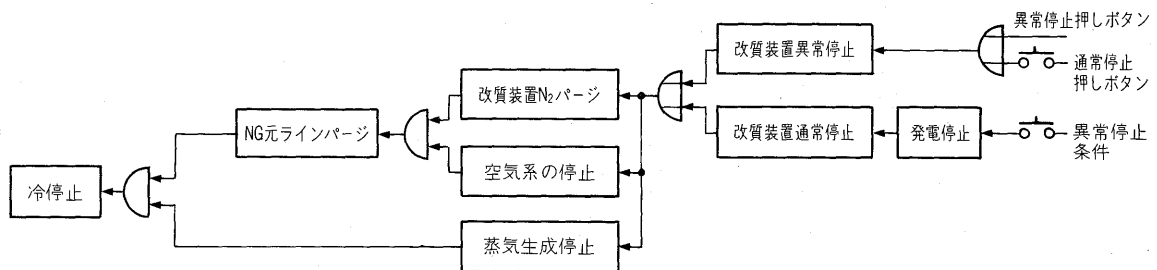
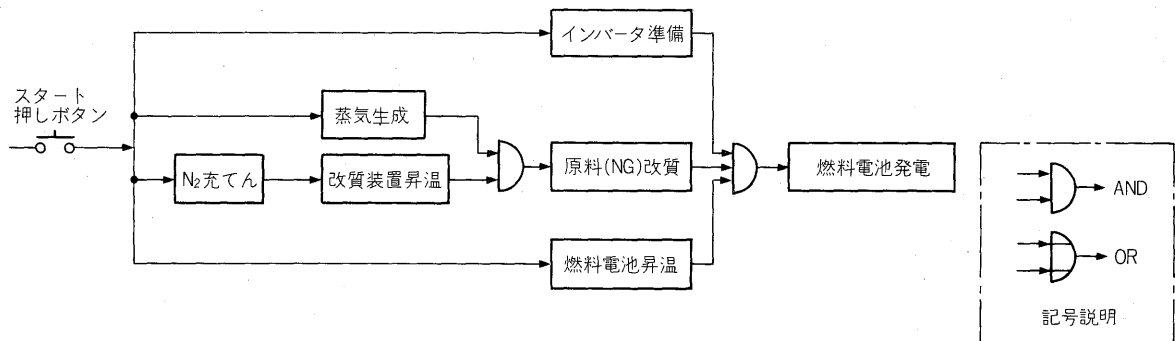
第2図はこの保護システムを図示したものである。

VI. 運転の自動化

化学反応を行う部分を持つ発電プラントであるので、起動時運転操作には温度を中心に多くの状態監視と判断が必要であり、また停止時も系内ガスのパーズ操作など多くの操作を必要とする。また燃料電池発電システムの将来の適用を考えると、起動停止が頻繁に行われるケースが多くある。そこで判断ミス・処理の遅れによるトラブルの防止と、省力化を目標とした運転の自動化が将来とも必要との判断から、無人遠隔操作運転も可能な形で大幅な自動化を試みた。

第3図に起動・停止手順の流れを示す。起動・停止のシーケンス制御内には化学プラント特有の温度・圧力・流量・レベルのようなアナログ信号から判断する要素が多く含まれているが、今回の計装方式ではデジタル式調節計を採用し、高精度演算・高級演算を行い、シーケンサと組み合わせ、満足すべき自動化を達成できた。

第1表に運転操作モードを示す。起動・通常停止の自動とは押しボタンスイッチを1回押すことにより動作が



第3図 起動・停止手順  
Fig. 3. Flow chart of start up and shutdown

第 1 表 運転・操作モード  
Table 1. Operation mode

	自 動	半 自 動	手 動
起 動	○	○	○
通常停止	○	○	○
異常停止 (重故障)	○	—	—
" (軽故障)	○	—	—
" (起動途中)	○	—	—
緊急停止	○	—	—
通常負荷運転 (25~100%)	○	—	—

完了することを示し、緊急停止・重故障停止等々の自動とは原因が発生したら自動的に作動し完了することを示している。また通常運転での自動とは、負荷設定の変更に對し自動的に各部の状態を追従させることを意味している。

起動・通常停止にはこの自動モードのほかに、半自動モードと手動モードを設けた。半自動モードは、ある限られたステップ内だけ自動進行し、その節々でオペレータの判断が入る運転モードである。また、手動モードは操作端と 1 : 1 の操作スイッチで運転する中央遠隔操作のモードであり、試験用である。緊急停止・重故障停止等々には、その性格上半自動モード・手動モードはない。

VII. 計測・制御装置

第 4 図に計測・制御システム構成図を示す。このシステムの特徴は次のとおりである。

1) 多機能デジタル調節計

プラント運転の負荷変化範囲が広く、更に追従性向上のためにフィードフォワード制御及び各種演算制御が多いなどの要求内容に對するため、調節計はマイクロコンピュータ内蔵のデジタル調節計を使用した。これにより高精度演算・高級演算を実現させ、満足のゆく制御結果を得ることができた。

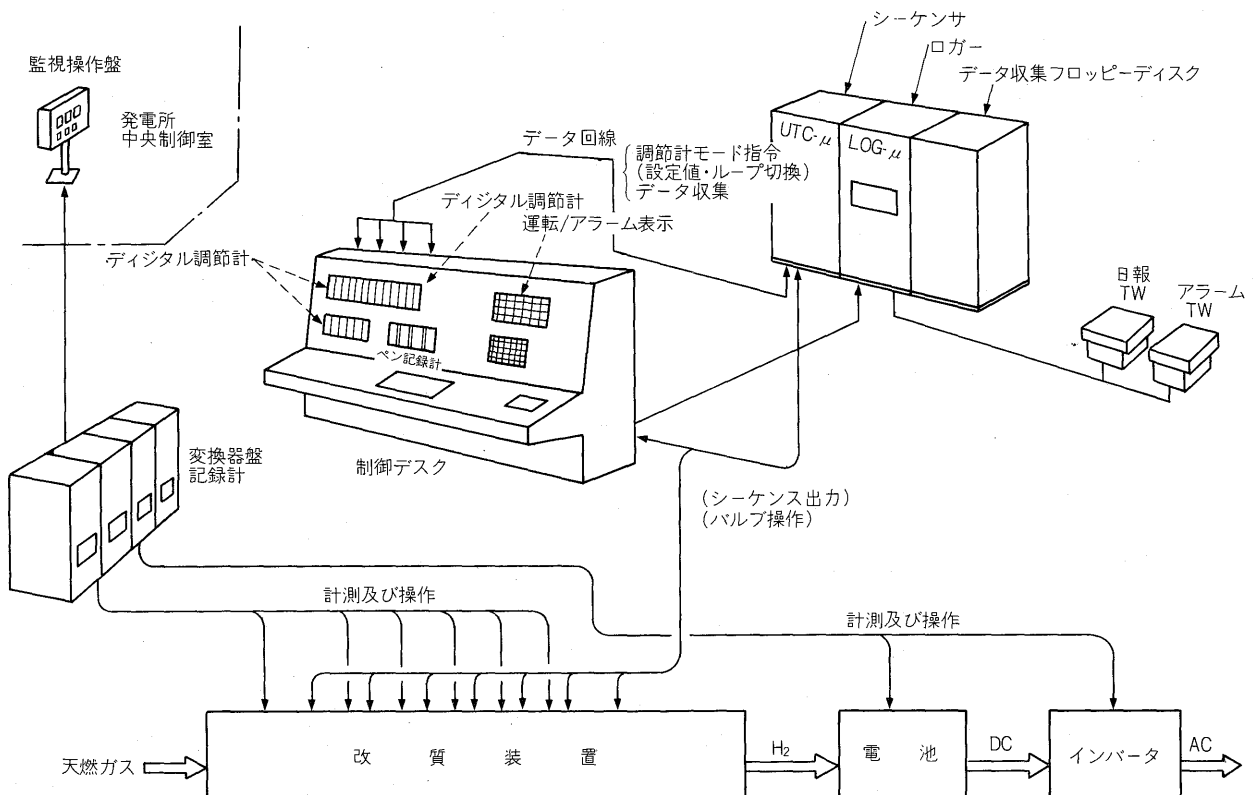
2) データ伝送機能付多機能シーケンサ

自動起動・停止・自動の異常停止とシーケンス操作が多く要求されているが、調節計とデータ伝送ができる多機能シーケンサを使い、これらを高いレベルで実現した。

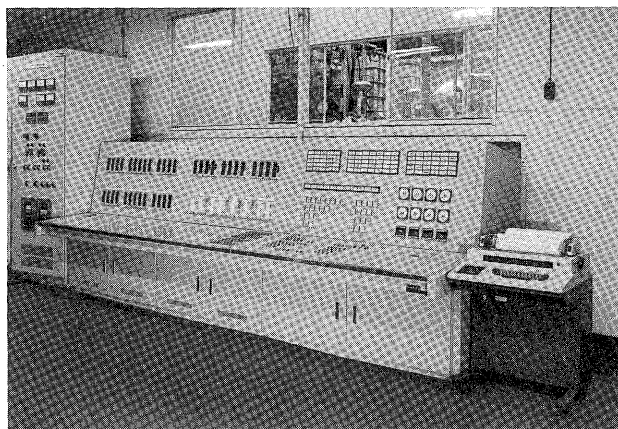
3) データ蓄積機能付データロガー

今回の装置は将来の大形化を目標とした実証プラントであることを考慮し、記録を取るのに次の 3 種の機器を用意した。このうち、①と③は今回用に一体化した装置とした。

- ① アナログ信号をそのまま記録ペン記録計及び打点記録計
- ② 定時記録, 1 日の集計記録, 及びアラーム記録を行うデータロガー



第 4 図 計測・制御装置の構成  
Fig. 4. Hardware system of measuring and control equipment



第5図 制御デスク  
Fig. 5. Operator's console

- ③ プラント解析のためのデータ収集装置 (フロッピーディスク)
- 4) 遠隔監視操作盤  
遠隔操作の無人運転が可能のように離れた場所〔関西電力(株)堺港発電所の中央制御室〕に監視操作盤を設置した。
- 5) 本質安全防爆方式  
可燃性ガスを扱うので、計測制御装置は本質安全防爆方式を採用し、安全に万全を期した。

第5図に計測制御装置の操作デスクの写真を示す。

### VIII. 工場試運転結果

本プラントは、昨年末から富士電機川崎工場においてフルプラント状態でのテストを下記のように行ってきた。

負 荷：単独及び60 Hz 模擬系統接続

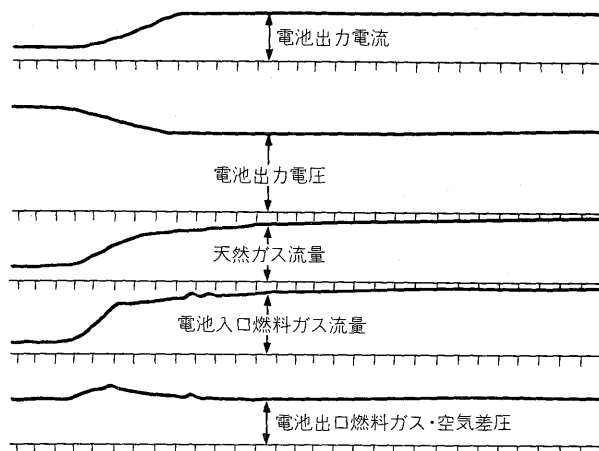
延べ運転日数：37日

起動停止回路：59回 (各負荷からのモード別停止テストを含む)

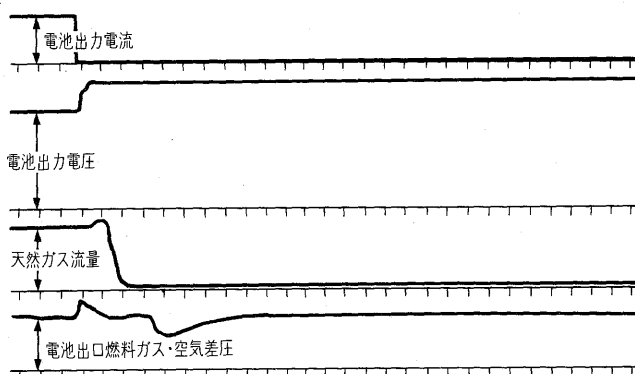
負荷遮断回数：14回

プラントの制御状況を表すオシログラフを第6図と第7図に示す。第6図は負荷を25%から100%まで急に変えた時の状況を、第7図は100%負荷から重故障非常停止モード (ES-2) でプラントを停止した時の状況を示すものである。いずれも関係諸量がよく制御されていることが見てとれる。

これ以外の点についてもテストの全般にわたり制御関連システムは十分所期の機能を果たし、システムの基本にからむような問題は全くなしに、工場における予定の全テスト項目を終了した。



第6図 負荷変化テスト (25%→100% 30秒)  
Fig. 6. Load change test (25%→100% 30s)



第7図 非常停止テスト (100%負荷, ES-2モード)  
Fig. 7. Emergency shutdown test (100%load, ES-2 mode)

### IX. あとがき

先に述べたように我が国で燃料電池発電プラントを実用化するためには、燃料電池の特質に合うようプラントを構成するシステム技術の開発が必要である。その意味で今回小容量ではあるが、我が国で初めての“将来の事業用発電プラントを考慮した燃料電池発電プラント”の設計・製作・運転の機会を得られたことは非常に有益であった。今後更に関西電力(株)堺港発電所で得られる運転データを加えることにより、開発の次のステップと考えられる MW 級プラントの設計は十分に可能であるとの自信を深めている。

なお、末筆ながら本プラントの計画にあたり関西電力(株)殿から種々有益な御指導・御教示を頂いたことを記し、謝意を表す。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。