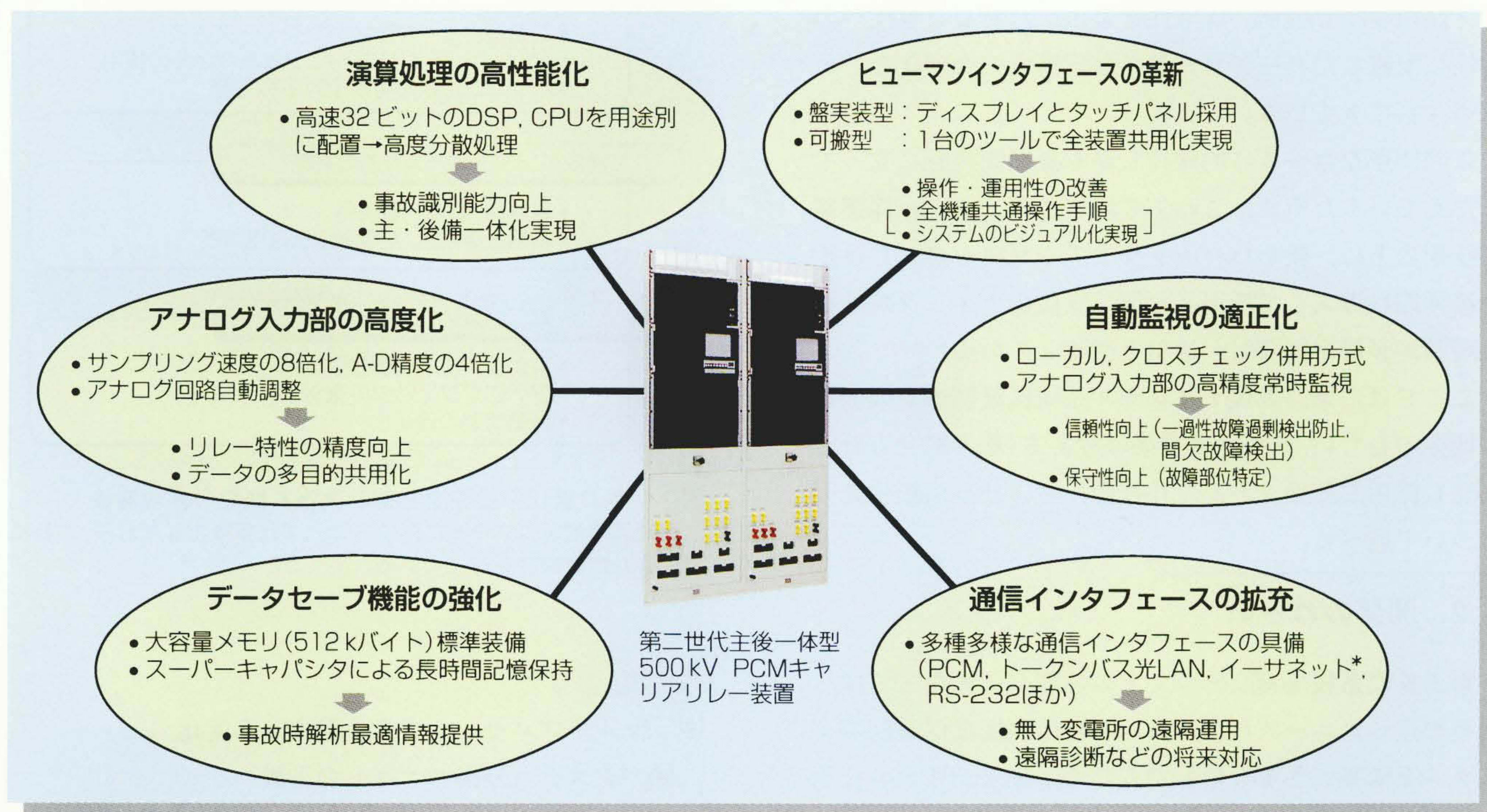


第二世代の系統保護制御システムを支える 最近のデジタル技術

High-Precision Techniques of Advanced Power System
Control and Protection Equipment

千葉富雄* Tomio Chiba 斎藤真治* Shinji Saitō
城戸三安* Mitsuyasu Kido 松山敬和* Takakazu Matsuyama



注：略語説明ほか DSP(Digital Signal Processor), CPU(Central Processing Unit), A-D(Analog to Digital), PCM(Pulse Code Modulation)
*イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商品名称である。

第二世代の系統保護制御システムを支える高度化技術

第二世代の系統保護制御装置では種々開発して採用した高度化・高信頼化技術によって柔軟かつ高信頼度なシステムが構築でき、次代の多様なニーズにこたえることができる。

電力系統の保護制御システムにマイクロプロセッサを中心とするデジタル技術が使われ始めたのは、約15年前である。デジタル形はアナログ形に比べて性能、保守性面で優れ、かつ装置盤面数も削減できたこともあって、各電力会社での適用が拡大し、現在ではこの分野の主流の座を占めている。一方、近年、高度情報化社会の進展に伴い、電気への依存度はますます増大し、500 kV ケーブル系の都心部への導入、直流連系設備の増強をはじめとする計画に見られるように、電力系統もいっそう大規模化、多様化する傾向がある。このため、その神経

系統的役割を担う系統保護制御システムにも、性能・機能のいっそうの高度化、運用・保守性の向上、高信頼度システムの実現などが必要になるものと考える。

日立製作所は、このような新しいニーズをタイムリーにとらえ、従来装置と同様、マルチプロセッサ方式の継承と、それを支える核技術・コンポーネントを開発し、柔軟なシステム構成が構築できるとともに、高集積化技術などによる固有信頼度の向上と、自動監視機能の適正化による稼動信頼度の向上を図った第二世代の系統保護制御システムを開発した。

*日立製作所 国分工場

1. はじめに

近年、高度情報化社会の進展に伴って、電気への依存度はますます増大し、電力の安定供給、質的向上に対する要求が高まっている。特に、電力系統の保護制御システムには、系統規模の拡大・複雑化によって増大しつつある系統事故現象検出上の制約に対処するために要求される演算アルゴリズムの高度化、これを支えるための高速・高精度演算機能、保守性を追求した新しい世代への適性に配慮したハードウェア、装置構成の合理化などが求められてきている。

このようなニーズに的確にしかも長期的視野に立ってこたえていくために、これまで培ったデジタル保護制御技術の上に、新しいハードウェアやソフトウェア技術を積極的に導入して活用した第二世代のデジタル系統保護制御装置を開発し、適用を開始している。

ここでは、第二世代デジタル系統保護制御システムの開発のねらい、システム構築の考え方(基本開発方針)、開発し採用した種々の高度化技術、および高信頼化施策について述べる。

2. 開発のねらい

第二世代系統保護制御システムの開発にあたっては、初めに述べたニーズにこたえ、各種の高度な保護制御システムを構築できるものとするため、従来システムに比べて次の点を実現することをねらいとした。

- (1) 演算処理機能の大幅な強化
- (2) 入力データ精度の大幅な改善
- (3) ヒューマンフレンドリーなシステム
- (4) 通信インタフェース機能の拡充
- (5) 信頼度の向上

これらのねらいを達成するための第二世代デジタル系統保護制御システム開発の基本施策を要約して図1に示す。

3. 第二世代系統保護制御システムの基本構成

システムを構成する各ユニット(基板)には種々の最新技術を採用し、より優れた保護制御システムが構築できるようにした。

そのため、機能分散(機能単位のユニット化)の考え方をベースとし、次の点を基本的な方針とした。

- (1) 汎用システムバス〔国際標準VME(Versa Module Europe)バス〕の採用によるビルディングブロック構成

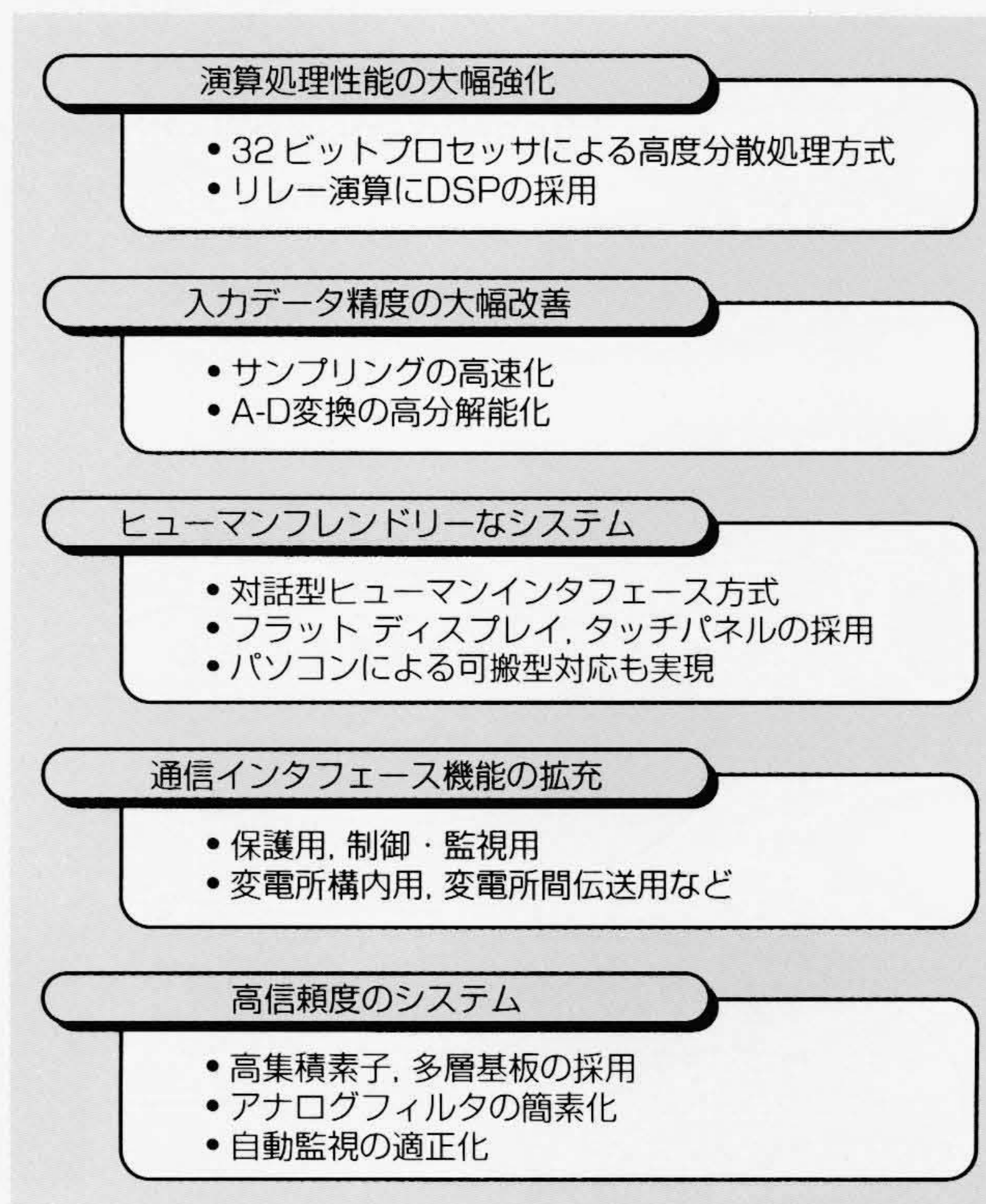


図1 第二世代系統保護制御システム開発の基本施策

系統保護制御システムに対するニーズは多様化しており、これに対応した技術開発を行っている。

の実現

(2) マルチプロセッサ方式の継承と高度化

- (a) システム制御ユニットの具備
- (b) 32ビットのDSPと汎用マイクロプロセッサによる、用途に合わせた高速処理

(3) 保護機能とHI(Human Interface)の分離

(4) 通信インタフェースの拡充

第二世代系統保護制御システムの基本構成を図2に示す。

4. 高度化技術

4.1 アナログ入力部の高度化

系統保護制御システム高度化の一環として、まずアナログ入力部を、今後予想される電力系統の変化に伴って生ずるニーズに適合できるようにする必要があった。このための検討を行って開発、適用したアナログ入力部の高度化技術を、この部分へのニーズとともに図3に示す。

- (1) サンプリングの高速化により、従来の電気角30度ピッチデータに比べ、8倍短い時間単位の3.75度ピッチの電流電圧データが利用できるため、CT(Current Transformer)飽和時や変圧器励磁突入時などの電流ひずみ波形をより正確にとらえることができるようになった。

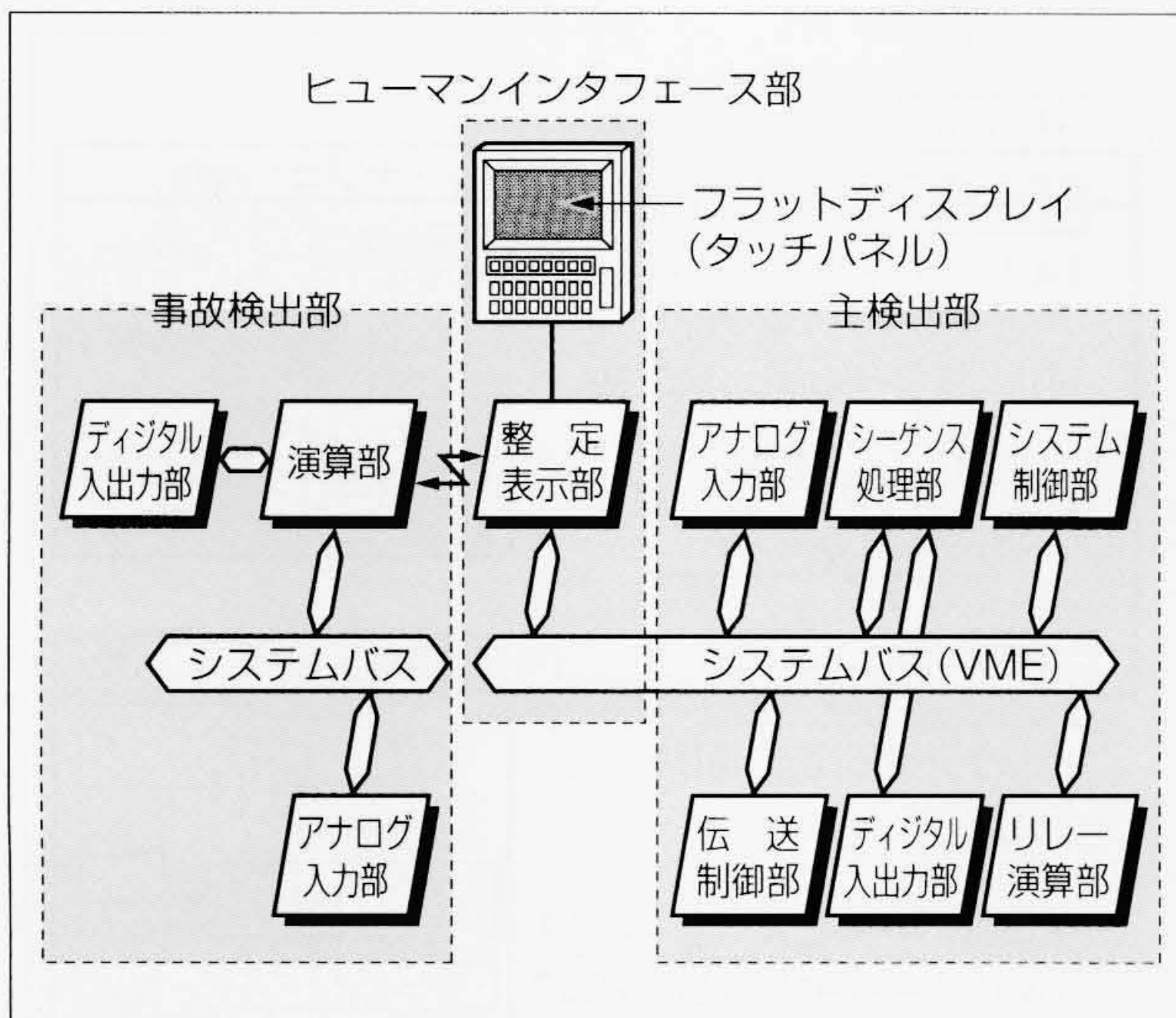
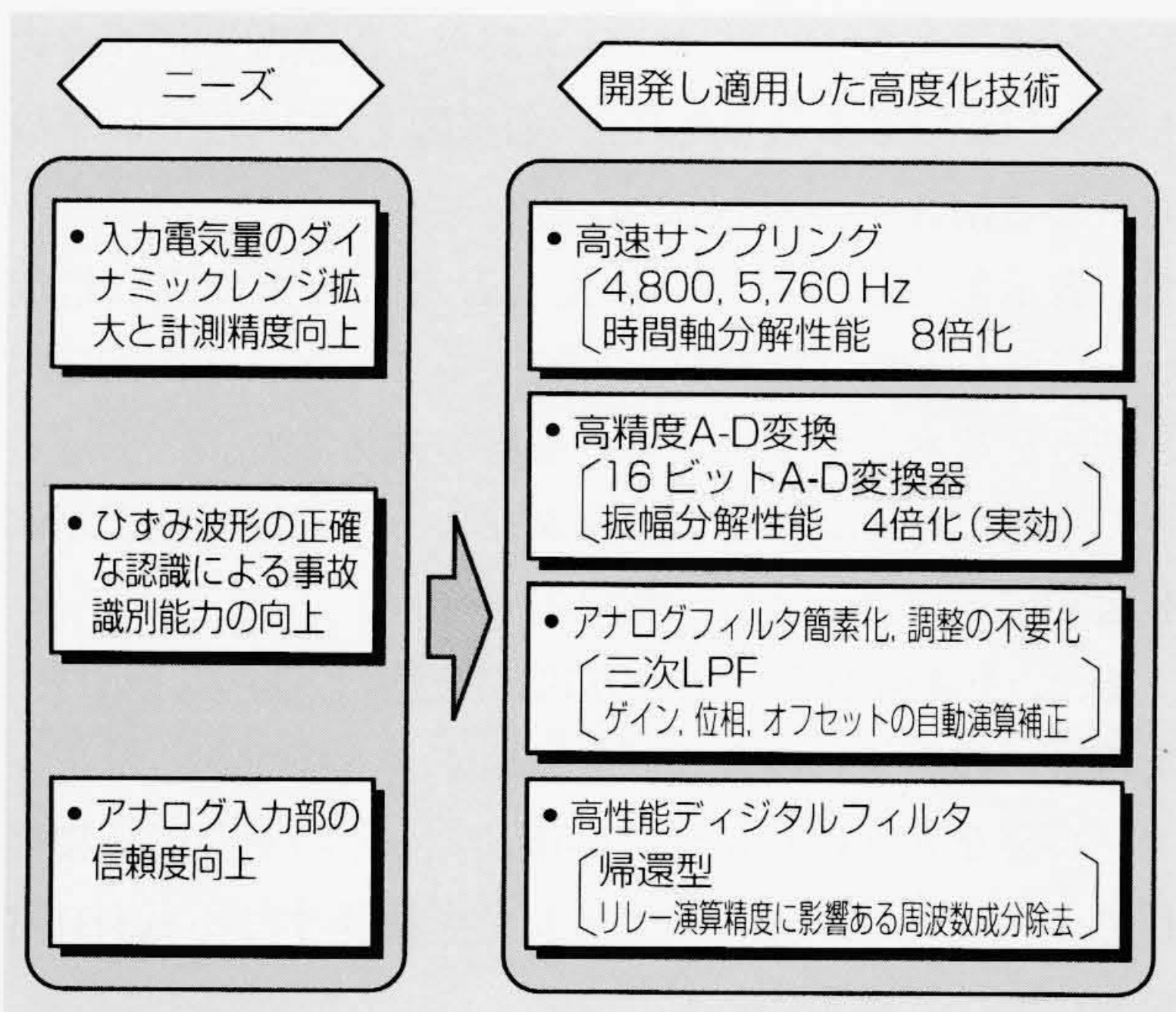


図2 第二世代系統保護制御システムの基本構成

高速32ビットマイクロプロセッサ〔DSPとCISC(Complex Instruction Set Computer)〕を用途に応じて配置したマルチプロセッサ方式のシステムを示す。柔軟なシステム構成の実現が可能である。

(2) 16ビットA-D変換器では、従来に比べてデータの分解能を数倍向上させ、入力電気量のダイナミックレンジ拡大ニーズに、計測精度を向上させながら対応できるようにした。また、従来は装置ごとに異なっていた入力電気量のフルスケールを統一することも可能にした。



注：略語説明 LPF(Low-Pass Filter)

図3 アナログ入力部のニーズと、開発し適用した高度化技術

高速サンプリング、高精度A-D変換、高性能デジタルフィルタの採用により、アナログ入力部のハードウェアの標準化・小型化、装置のコンパクト化、およびリレー特性の大幅な改善を図ることができた。

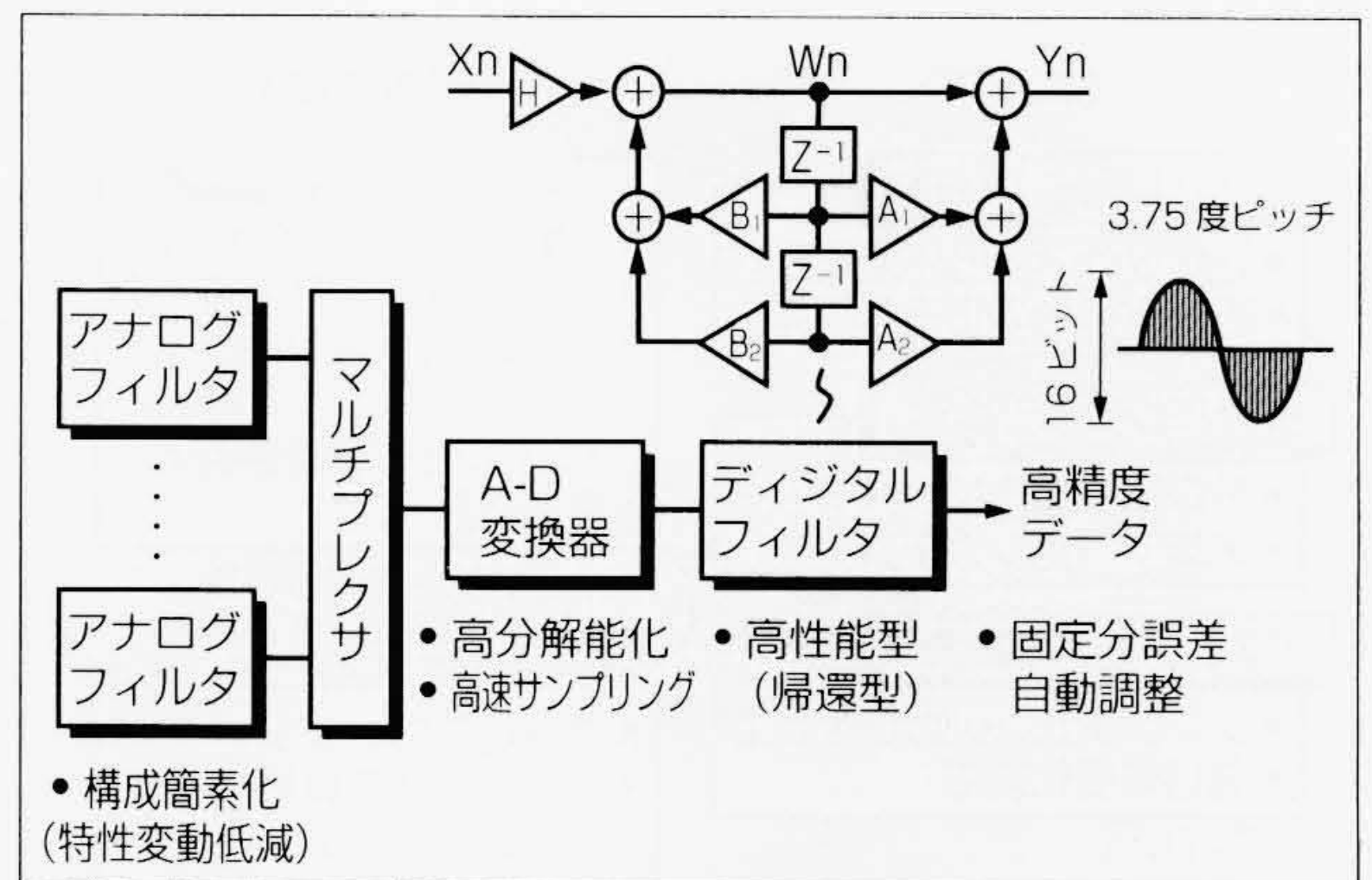


図4 アナログ入力部のブロック構成

高速サンプリングと高性能型デジタルフィルタの採用によってアナログフィルタを簡素化している。さらに、固定分誤差の自動調整により、各入力チャンネルごとのサンプルホールド素子の数を削減している。

(3) アナログフィルタの役割はサンプリングによる折返し誤差の防止にとどめ、その回路を簡素化した。これにより、温度変化や経年変化の減少(高安定化)とともに、アナログ入力部のハードウェアの標準化と信頼度を向上させた。また、入力変成器を含むアナログ部のゲイン、位相、オフセット電圧はDSPで自動演算補正し、人手による調整を不要にした。

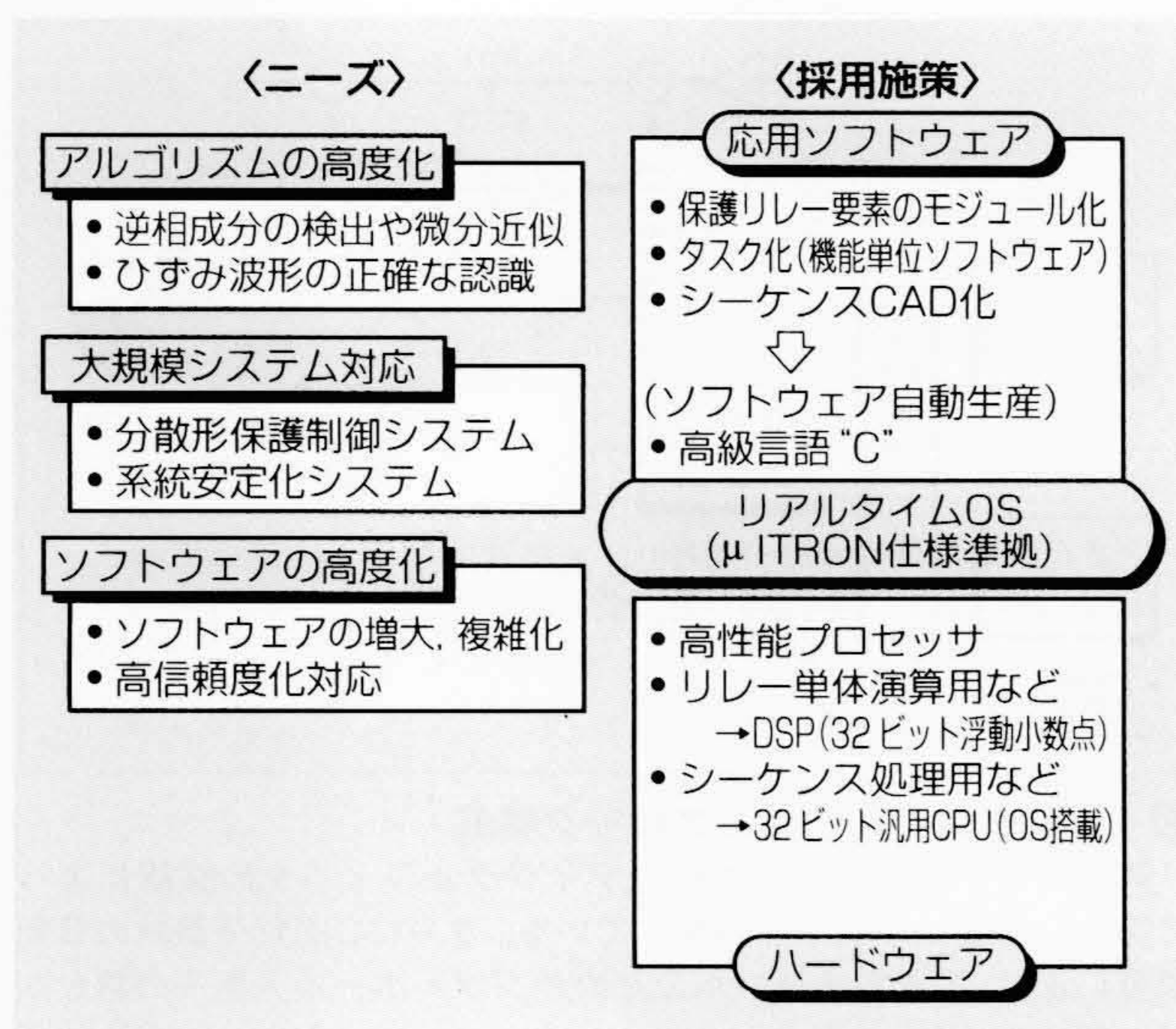
アナログ入力部のブロック構成を図4に示す。

4.2 演算性能の高度化

演算性能の高度化のためのニーズと採用施策を図5に示す。実績があり、今後も活用できるソフトウェアなど技術的財産の継承と処理能力の大幅向上の両立、将来性などを考慮し、以下の施策を採用した。

- (1) 32ビット浮動小数点演算形DSPによる従来の約10倍の高速演算を実現(リレー単体演算用など)
- (2) 32ビット汎用プロセッサの採用による高速演算の実現(シーケンス処理用など)
- (3) リアルタイムOS(Operating System) “ μ ITRON”の採用による各種処理ソフトウェア間の独立性確保
- (4) シーケンスのCAD化(ソフトウェアの自動生成)

これらの技術の採用により、アルゴリズムの高度化への対応と大規模システムへの適用を容易にするとともに、小型(例えば、超高压用送電線保護リレー装置の場合、従来の約 $\frac{1}{2}$ に縮小化できる。)で高信頼度の保護制御システムを構築することを可能とした。これらの技術を採用したシステム全体の演算性能は、これまでと比べて5倍以上の処理能力(当社従来機比)を実現している(図6参照)。



注：略語説明 OS (Operating System)
μITRON (μ Industrial The Real-time Operating System Nucleus)

図5 演算処理部のニーズと、開発し適用した高度化技術

高速32ビットマイクロプロセッサ(DSPとCISC)の採用により、高速演算、アプリケーションの多様化、およびソフトウェアの自動生産に対応している。

ソフトウェアの自動生成(モジュール化とシーケンスCAD)の概要を図7に示す。

4.3 ヒューマンインタフェースの高度化

保護制御システムの高度化により、システム運用上の表示・操作項目が増え、また、高機能化によって操作者の利用できる情報量も増加している。したがって、従来の発光ダイオードやスイッチによる個別表示・操作方式は、使いやすさのうえからも、物理的スペースからも限界にきている。そこで、第二世代の系統保護制御システムでは、必要な情報(豊富な情報)を容易な操作でわかりやすく提供し、装置の機種によらず共通のハードウェアで各機種ごとに対応した表示・操作ができるようにすることが必須である。そのため、表示部としてのフラット

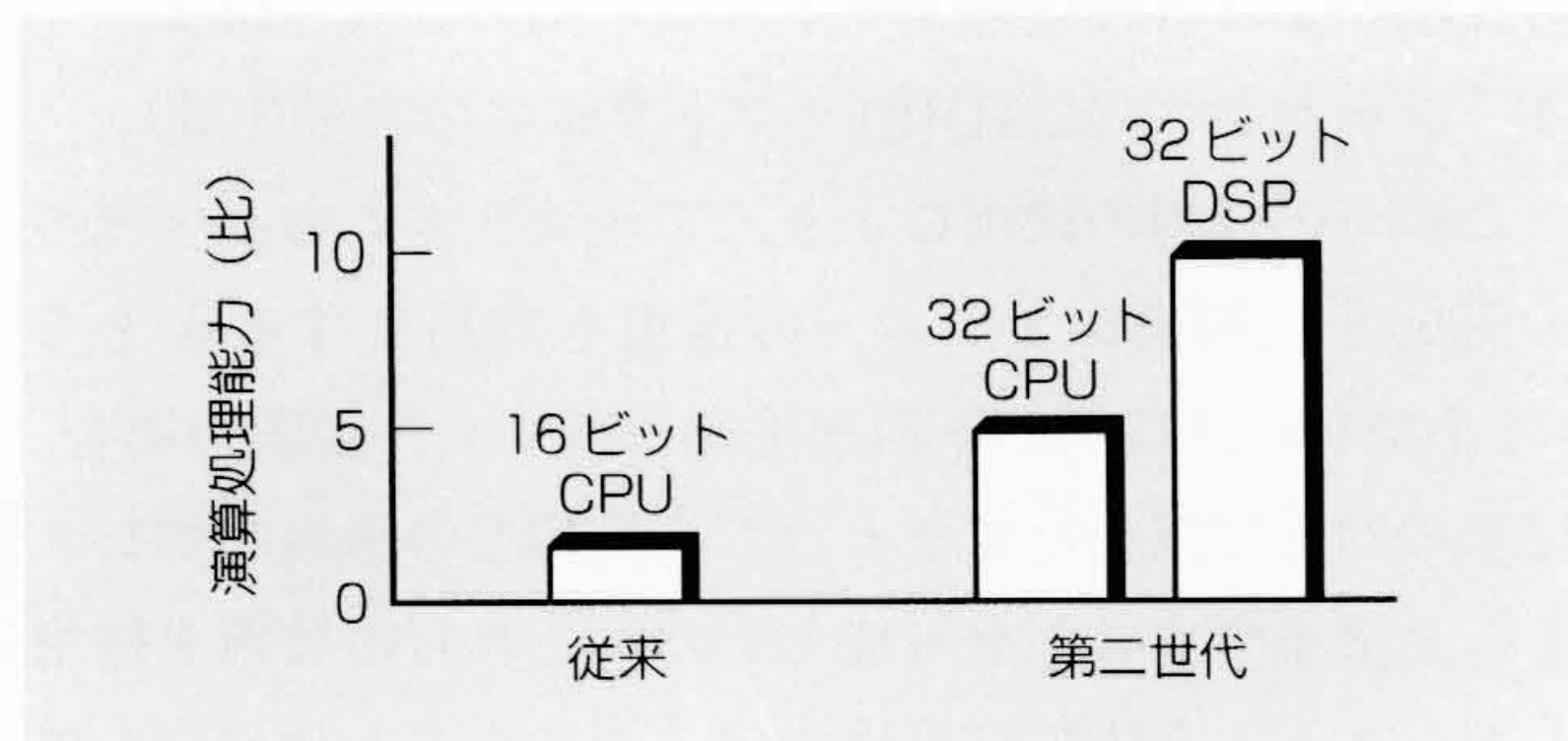
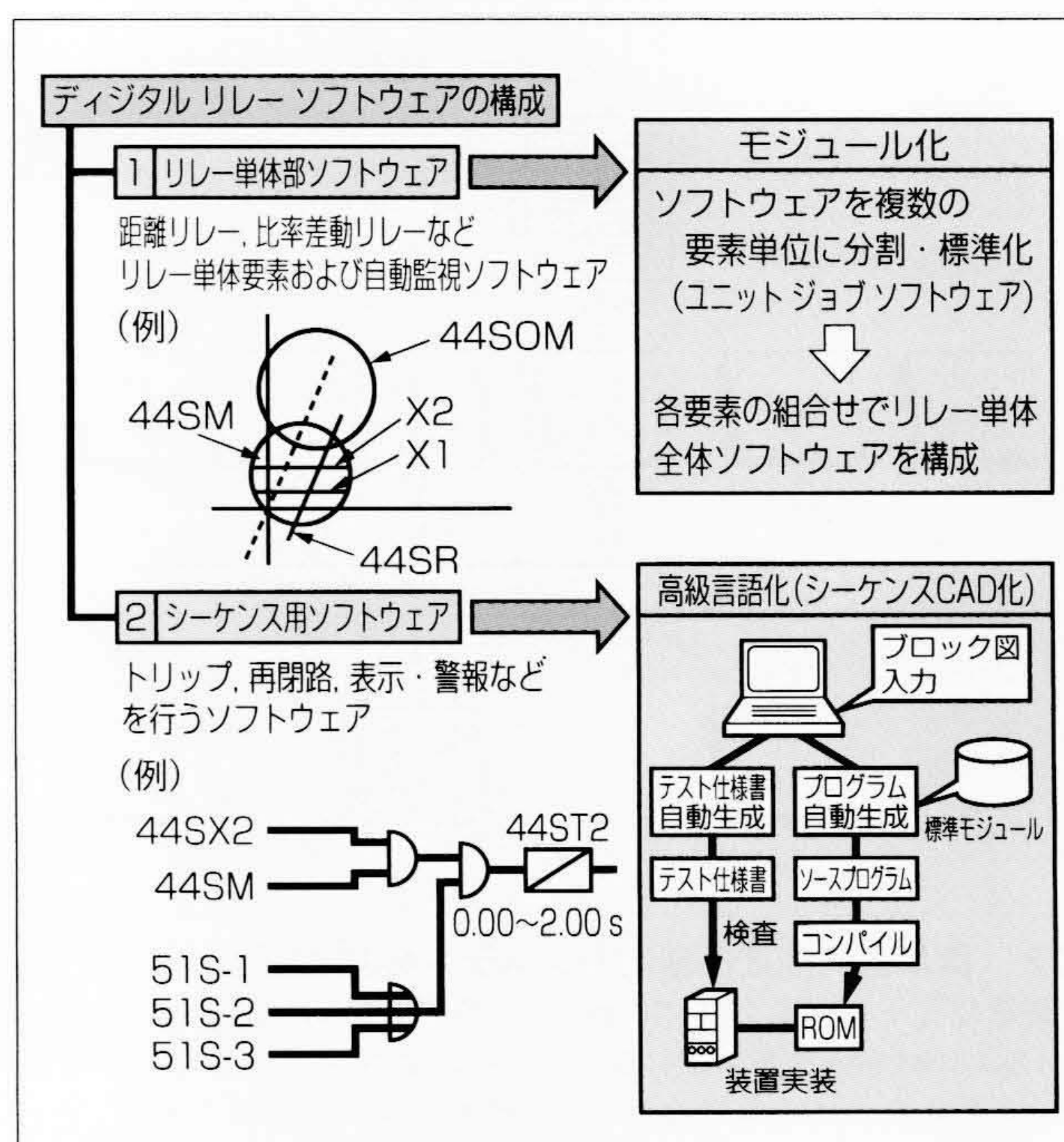


図6 演算性能の比較

高速32ビットマイクロプロセッサの採用により、5～10倍の高速演算を実現している。



注：略語説明 ROM (Read-Only Memory)

図7 ソフトウェアの自動生成の概要

デジタルリレーのリレー単体部ソフトウェアはモジュール化により、シーケンス用ソフトウェアは高級言語によってそれぞれ自動生成され、ソフトウェアの高信頼化を実現している。

ディスプレイと、その表示画面上にスイッチ機能を自由に配置できる、操作部としてのタッチパネルを組み合わせることで操作表示部を実現した。主な特徴は以下のとおりである。

- (1) ヒューマンインタフェース部を、保護制御機能そのものをつかさどる演算処理部(前掲図2の主検出部、事故検出部に相当)から独立させた。
- (2) 表示部と操作部の一体化：表示や操作の画面構成は、必要なものだけを簡単に行えるようにツリー構造、3階層を基本とするメニュー選択方式とした。

この新しいヒューマンインタフェース部の画面表示例を図8に示す。

また、上述の盤実装型的方式(HI盤実装型)のほかに、次の二つのいずれの方式でも適用できる構成とした。

- (1) 必要なときにパソコン(可搬型ツール)を装置に接続して、パソコン画面とマウスなどで操作する方式(HI可搬型)
- (2) 装置と遠隔のパソコンなどを通信路(電話回線など)によって接続して操作する方式

これらにより、現場での運用・保守の容易化はもちろんのこと、今後適用が拡大していく遠隔運用・保守にも柔軟に対応できるものとした。

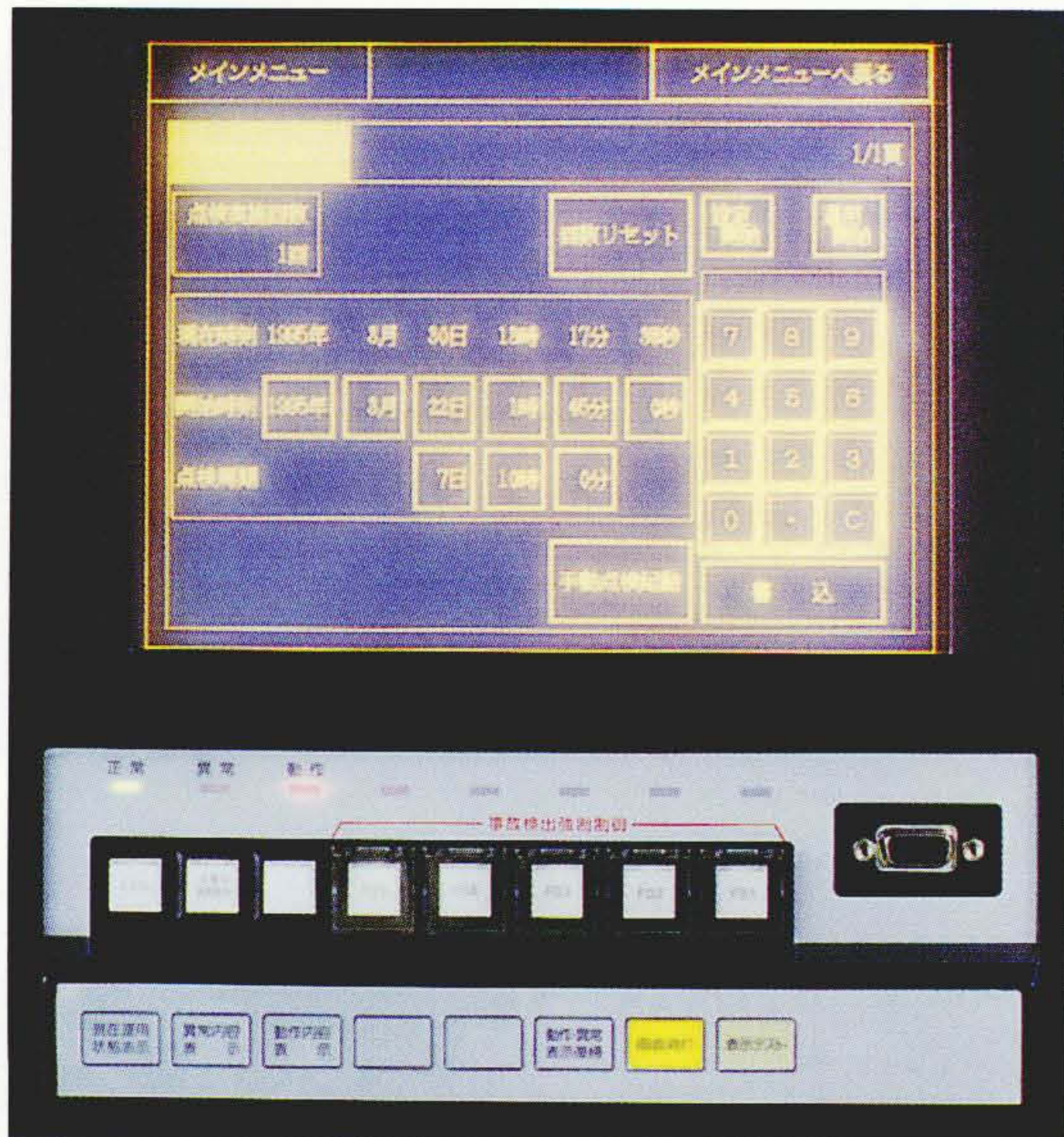


図8 ヒューマンインタフェース部の画面表示例

メニュー選択方式でわかりやすく対話型で操作できる。随時、コネクタで接続替えることにより、各種保護制御装置に共用できるようにした。

4.4 通信インタフェースの拡充

近年、通信網の整備や標準化が急速に進められており、保護制御システムを取り巻く環境もそれらの動きに適合できるように変化していくと考えられる。(1) 無人変電所の運用高度化、(2) PCMリレーの適用拡大、(3) 保護制御システム内情報の有効活用、(4) 変電所総合運転システムの構築など、保護制御システムと外部との間で各種通信方式によるインタフェースをとるニーズはますます拡大、多様化していく傾向にある。

このようなニーズに対応するために第二世代の系統保護システムでは、以下に示すような豊富な通信インタフェースをそろえ、多様な通信システム・情報処理機器との接続を実現している。

(1) 光LANを用いた変電所統合化保護制御システム

使用するLANは、(a) 光スターカップラを用いたトークンパッシングバス(伝送速度：10 Mビット/s)、(b) イーサネットなどであり、運用・保守性が高い分散形システムが構築できる。

(2) 種々の通信方式に対応したPCMリレー

第二世代の系統保護制御システムでは、以下のような通信インタフェースを準備している。

- (a) 伝送速度；54 kビット/s、伝送形態；光、電気
- (b) 伝送速度；1.544 Mビット/s、伝送形態；光、電気

(3) シリアルインタフェースによる各種情報機器との接続

パソコン、ワークステーションなどの情報機器の標準

インタフェースとなっているシリアルインタフェース(RS-232C)を各ユニット(プリント基板)に標準実装しており、各種情報機器との接続が容易に行える。これにより、保護制御システム内部に蓄えられたセーブデータの内容を読み出して、解析、診断することが容易となっている。

(4) 電話回線を介したリモート診断・解析

電話回線などを介して、保護制御装置内のデータを遠方へ転送し、遠隔地で解析・診断を行うことを可能とした。さらに、保護制御装置間を汎用LANであるイーサネット接続し、これと電話回線を結ぶことによって解析・診断データを転送するシステムへの拡張も行うことが可能である。

5. 高信頼度化施策

5.1 固有信頼度向上

主に、次のような施策によって、固有信頼度の向上を図っている。

(1) 高集積・高密度化実装技術の採用

第二世代の系統保護制御システムの性能・機能は大幅に向上しているが、これを実現するハードウェア規模や部品点数は、下記に示す最新の半導体技術と実装技術を駆使した高集積・高密度化によって大幅に削減している。

- (a) 専用GA(Gate Array)、FPGA(Field Programmable Gate Array)、ハイブリッドICの採用
- (b) 高速・高集積素子の採用
- (c) プリント基板の多層化(6～8層)
- (d) 表面実装ICの採用

上記の高集積、高密度化実装技術を駆使して開発した第二世代のプリント基板の外観を図9に示す。

(2) ハードウェアのソフトウェアへの置き換え

(a) 前述のように、本来のデジタル処理では、対策の不可能な折返し誤差防止用を除く、保護性能上必要なフィルタ特性(高調波除去)をデジタルフィルタで実現することにより、アナログフィルタ回路の所要素子数を削減するとともに、温度変化、経年変化による特性変動の影響を軽減している。

(b) 整定・表示関連の機能をフラットディスプレイパネルに集約して、ソフトウェア処理することにより、スイッチやタップなどの可動部品を大幅に削減している。

5.2 自動監視機能の適正化

電気協同研究会での実績データ分析結果によれば、現行の自動監視機能は、障害発見率の面では保守・運用性

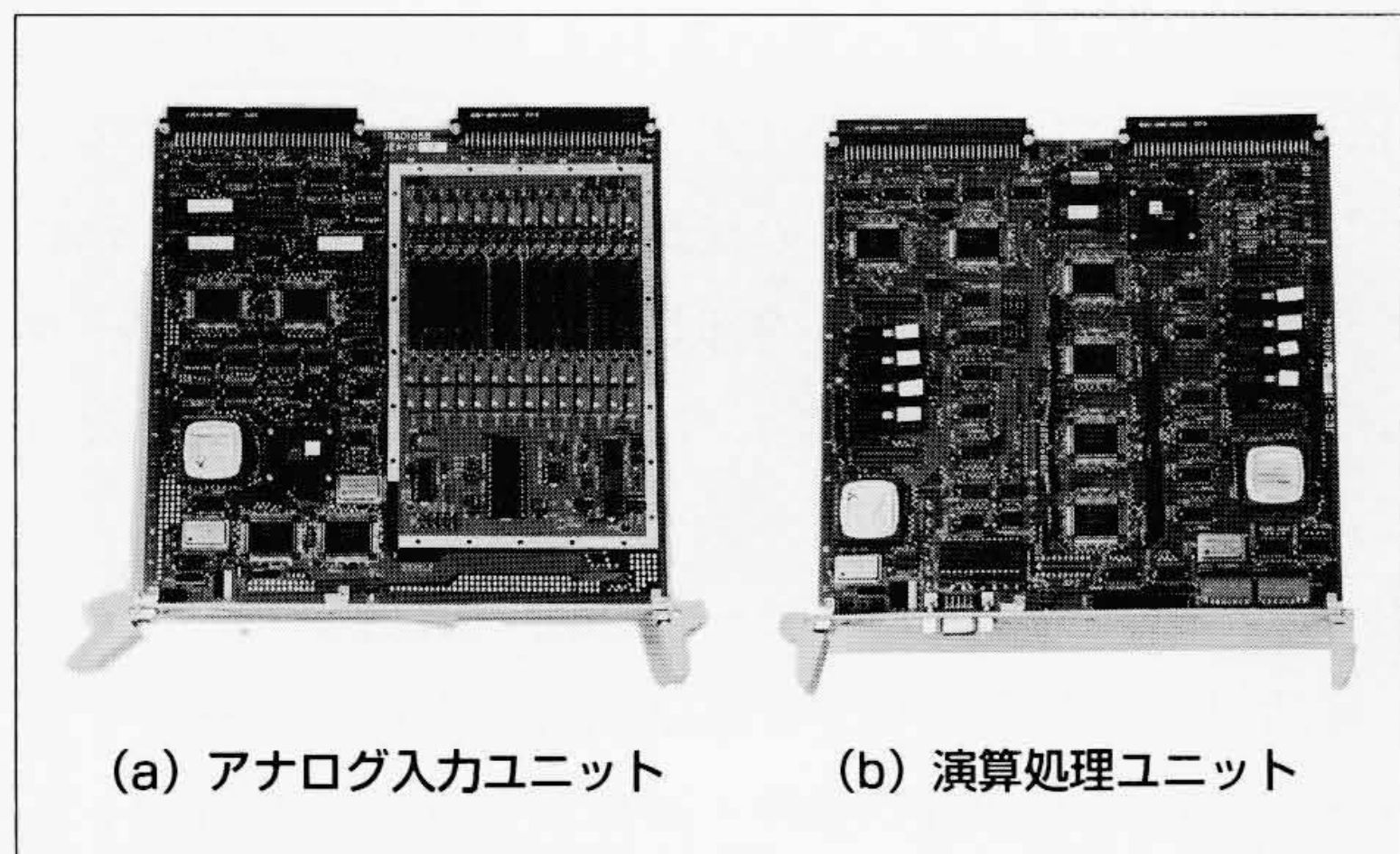


図9 第二世代のプリント基板

最新の半導体技術と実装技術を駆使し、高速演算、コンパクト実装(実装効率向上)、耐ノイズ性能の向上を図っている。

の向上に大きく寄与していると言える。しかし、運用業務のいっそうの軽減や、障害の早期かつ確実な発見と修復時間短縮という観点では不十分であった。このため、下記のように改善して、自動監視機能の充実を図った。

- (1) 検出した監視項目だけではなく、故障部位をハードウェアの交換単位で特定化し、直接的に表示した。
- (2) 故障部位の保護機能への影響の有無を、主検出、事故検出に分けて表示した。
- (3) 発生頻度監視の採用により、従来の一定時間継続監視では検出不能な間欠故障を検出することを可能とした。
- (4) リセットなどで再起動すれば正常な保護機能の処理状態に復帰する、いわゆる一過性不良による不要な警報・機能停止を防ぐため、リスタート処理を実施した。
- (5) 点検中の事故などによって点検不良となることを回避するため、リトライ点検の自動実施を行った。

さらに、アナログ入力部については、常時特定高調波を重畳させ、系統からの入力信号には影響を与えずにこれを監視する方法を採用し、従来実施していたアナログ入力部の自動点検を不要にした。

信頼性向上のために検討を行って開発し適用した高信頼度化施策を、ニーズとともに要約して図10に示す。

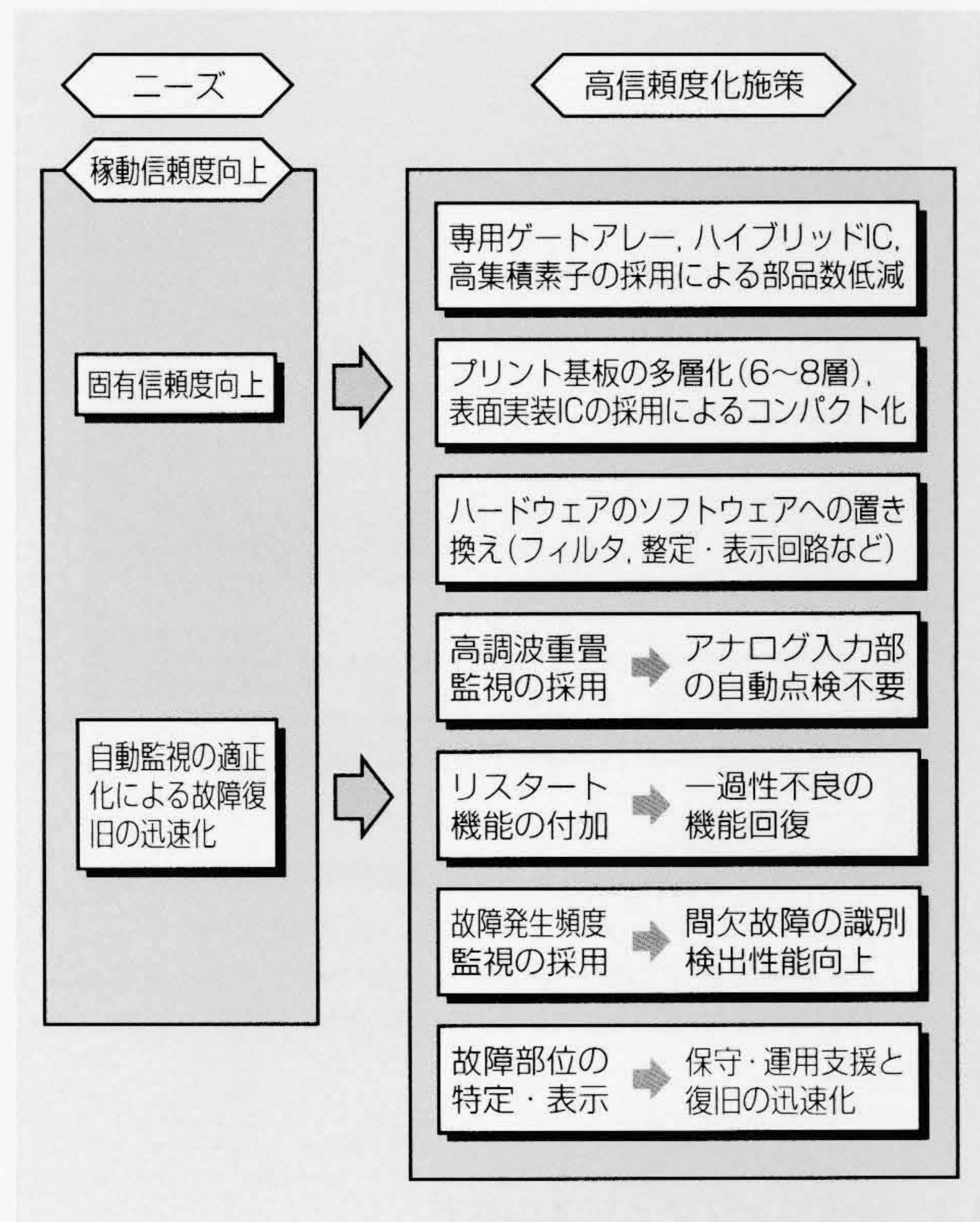


図10 信頼性向上のニーズと、開発し適用した高信頼度化施策

最新の半導体技術と実装技術、ハードウェアのソフトウェアへの置き換え、自動監視機能の適正化などニーズに適合した新しい技術開発を推進し、信頼性の高いシステム開発を行っている。

6. おわりに

ここでは、系統保護制御システムを支える最近のデジタル技術として、第二世代の系統保護制御装置の開発のねらい、システム構成の考え方、種々開発して採用した高度化技術、および高信頼度化施策について述べた。

保護制御システムはきわめて重要な使命を担っているため、これまでも常に信頼性に留意した開発を進めてきた。今後とも、電力会社のニーズに適合した新しい技術開発を推進し、信頼性の高い保護制御システムの開発に努力していく考えである。

参考文献

- 1) 松田, 外: 次世代デジタルリレーにおけるアナログ入力部高度化技術, 電気学会論文誌B, 777~784, 114巻, 7/8号(平6)
- 2) 前田, 外: 次世代デジタルリレーの開発, 平成6年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 381
- 3) 前田, 外: 主・後一体型送電線デジタル保護リレー装置の開発, 平成6年電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 382