圧延設備での自律分散計算機制御システム

Autonomous Decentralized Computer Control System for Rolling Mills and Finishing Lines

最近の鉄鋼プラントでは、製品の高品質化・高付加価値化への要求により、 ますます高性能・大規模なプロセス計算機システムが必要とされている。

このようなニーズに対して、最新の計算機技術の応用により、大容量メモリを備えた高速な計算機を高速LANで結合した大規模ネットワークが実用化され、制御機能の高級化や、より高度な品質保証機能の実現を可能にしつつある。

日立製作所は大規模システムを支える基盤技術として、独自の分散システムアーキテクチャである自律分散システムの開発を行い、ネットワーク機能を拡充強化した。さらに、ソフト分散開発環境としてUNIX**を採用し、ソフトウェアの作業改善に努めた。これらの新技術を鉄鋼プラントの圧延・精整ライン向けプロセス計算機システムに適用し、信頼性・保守性に優れたシステムを構築することができた。

堀 眞司* Shinji Hori
鈴木靖雄** Yasuo Suzuki
伊藤俊彦*** Toshihiko Itô
土井幸一**** Kôichi Doi

11 緒 言

近年、鉄鋼プラントでは、従来の生産コスト低減・省力化・ 省エネルギー化に加えて、製品の高品質化・高付加価値化に 対する要請が高まっている。これらの要請に対応するために、 より高度な計測技術・制御技術・品質管理技術が必要とされ ている。

プロセス制御計算機システムについても,管理範囲や機能の大幅な拡大に伴って,より大きな計算能力・記憶能力・通信能力が必要とされ,ますます大規模化・複雑化が進んでいる。

大規模で複雑なシステムは、従来のシステム構築技術や保守技術の限界を越えつつあり、新たなシステム概念が求められている。ここでは鉄鋼プラントの中でも圧延精整ラインシステムを対象に、最近のシステム構築技術およびソフト支援ツールについて述べる。

2 プロセス制御計算機システムの動向

鉄鋼プラントにプロセス制御計算機システムが導入されてからすでに20年を経過し、プロセス制御計算機システムは操業に不可欠な設備となっており、その内容も大規模化・複雑化している。

(1) 広域分散化

鉄鋼プラント設備の大規模化と連続化がますます進んでおり,プロセス制御計算機システムの制御範囲もますます広域

化・分散化している。これに対してプロセス制御計算機システムも、ネットワーク機能の強化や分散処理アーキテクチャの採用を積極的に進めている。

特に冷間圧延地区ではこの傾向が顕著であり,大規模な冷間圧延統合システムが次々に建設されている。

また、転炉から連続鋳造設備・ホットストリップミルに至る設備連続化の進展により、各プラント間の大量のプラント操業情報を実時間で高速に伝送する統合ネットワークシステムが必要とされる。

(2) 大規模化

表面処理鋼板などに代表される製品の高付加価値化・高品質化により、プロセス制御計算機システムに要求される制御機能も高度化・複雑化している。従来の簡易モデルに代わり厳密な数式モデルを直接実時間で計算し制御する高級モデルや、モデル化が困難な問題に対する知識処理応用システムなど大規模で複雑なプログラムが開発されている。

また、製品の品質保証についても、多種・大量の品質データをよりきめの細かいピッチで収集し、実時間でのデータ解析処理が要求される。

※) UNIX:米国AT & T社ベル研究所が開発したソフトウェア であり、AT & T社がライセンスしている。

^{*} 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 システム開発研究所 *** 日立製作所 機電事業本部 **** 日立エンジニアリング株式会社

マンマシンインタフェースでも、従来の設定盤や低中精細 CRT(1,000~2,000キャラクタ程度)から高精細CRT(3,000キャラクタ以上)に移行しつつあり、入出力情報量は大幅に増加している。

以上のようなシステム機能の高度化・複雑化・大規模化に伴ってソフトウェアの開発作業は膨大なものとなり、大量のソフトウェアをいかに効率よく開発するかが重要な課題となっている。

(3) 高信頼化

プロセス制御計算機システムの機能拡大により、プロセス 制御計算機システムの機能停止はプラントの操業に重大な影響を与え、生産効率の低下や製品品質の低下を引き起こし、 プラントによっては操業停止に至る。このような状況で、プロセス制御計算機システムの信頼性の向上が従来にも増して 重要な課題となっている。

これらのプロセス制御計算機システムへのニーズに対応するために、大規模な分散処理システムを構築するシステム技術の開発が盛んに行われているが、その中でも重要なネットワーク技術、ソフトウェア開発環境、自律分散システムについて以下に述べる。

3 ネットワーク

分散形のプロセス制御計算機システムの構築に不可欠なネットワークは、大きく情報系ネットワークと制御系ネットワークに分けることができる。

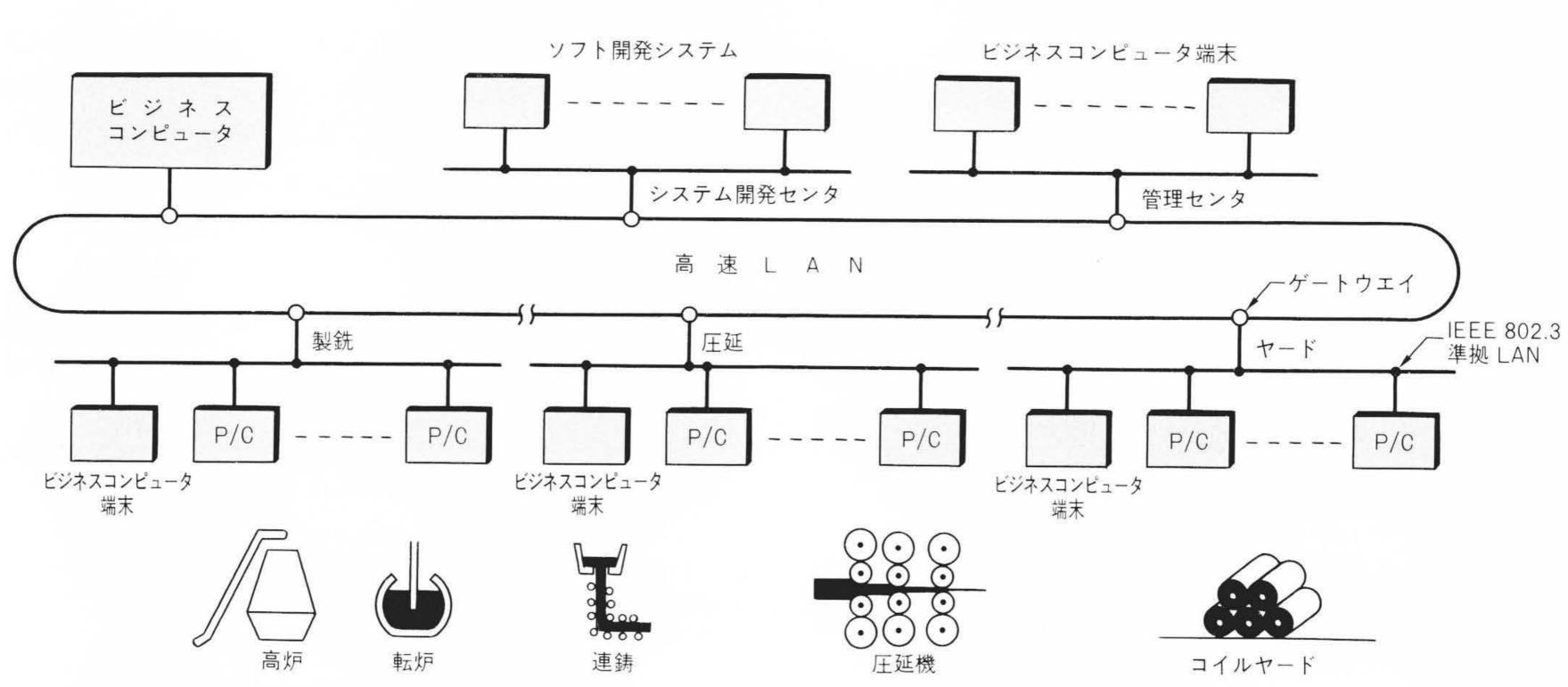
情報系のネットワークとしては、従来はビジネスコンピュータの独自ネットワークが利用されていたが、近年のシステムのオープン化への強い要求により、IEEE802.3準拠LANや

表 I 制御系ネットワークの仕様 制御系ネットワークの仕様を示す。機能コード通信機能とサイクリック通信機能を持ち、大規模なネットワークシステムの構築が可能である。

No.	項目	μΣ Network-10	Trunk Network-32
1	システム構成	CPU CPU CPU	CPU CPU CPU
2	伝送速度	10 Mビット/秒	32 Mビット/秒
3	接続可能計算機数	255台	255台
4	論理回線通信 パケットサイズ 最大データ長	1,024 バイト 64 kバイト	1,024 バイト 64 kバイト
5	機能コード通信 送信データ長 機能コード数	1,024 バイト 65,535	1,024 バイト 65,535
6	サイクリック通信 転写メモリ容量 転写周期	32 k語 8~512 ms	16 k語 1~512 ms

高速LANによるネットワークが実用化されつつある。高速LANとIEEE802.3準拠LANによる製鉄所内統合情報ネットワークシステムの構成例を図1に示す。鉄鋼石とコークスから銑鉄を製造する高炉から最終製品のヤードまでの全工程をネットワークで結合し、生産管理情報と品質情報をオンラインリアルタイムで収集管理するものである。

一方,制御系のネットワークは,従来の論理回線(パケット) 通信機能に加えて,サイクリック通信(メモリ転写)機能,機 能コード(ブロードキャスト)通信機能が開発され,通信速度 も数メガビット/秒であったものが10 Mビット/秒から32 Mビット/秒程度まで高速化されてきた。最新の制御用ネットワー



注:略語説明 P/C(プロセス制御計算機)

図Ⅰ 製鉄所内統合情報ネットワーク例 高速LANとIEEE802.3準拠LANによる製鉄所内統合ネットワーク構成例を示す。

クの仕様と機能を表1に示す。

4 ソフトウェア開発環境

現在ではプロセス制御計算機システムのソフトウェア開発は、UNIX*/上で行われることが多くなってきている。

UNIXの豊富なプログラミング機能の利用により、ソフト開発効率の向上が図られた。主な機能としては、強力なコマンドランゲージ、スクリーンエディタ、シンボリックデバッガ、ソースファイルの来歴管理、使いやすいファイルシステムなどをあげることができる。

さらに、UNIXのネットワーク機能による分散ワークステーションの利用による遠隔プログラム開発および保守が可能と

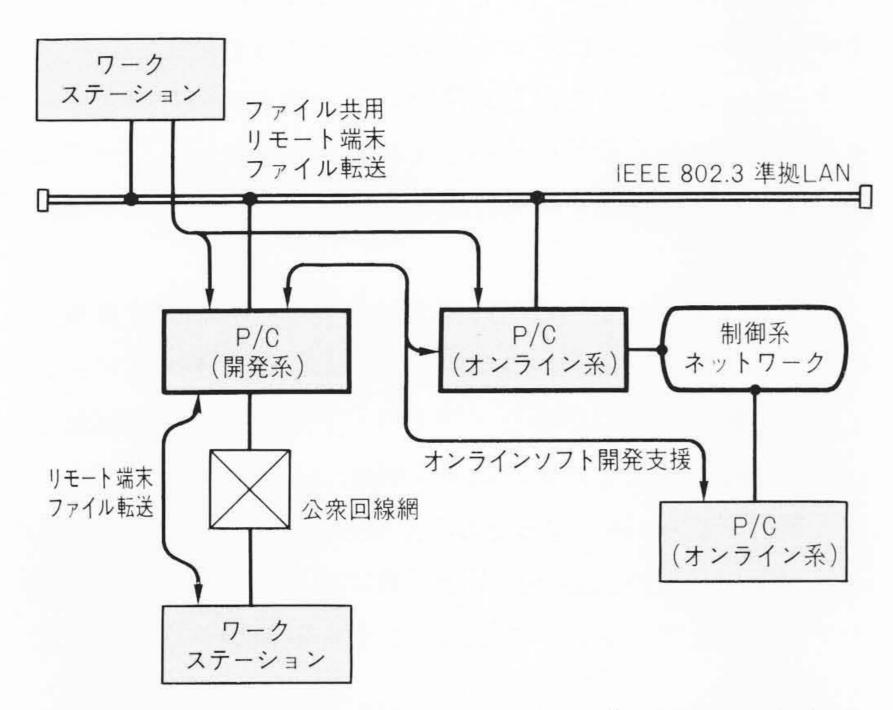


図 2 UNIX**)ネットワーク機能による遠隔プログラム開発保守 IEEE802.3準拠LANと公衆回線網により、UNIX**)ネットワークを構築し 遠隔からプログラムを開発、保守する。

なった。UNIXネットワーク機能による遠隔プログラム開発システムの構成例を図2に示す。構内の電話回線網とIEEE802.3 準拠LANを利用し、現場の計算機室から離れた事務所や開発センタでシステム開発を行うことができる。

5 自律分散システム

鉄鋼プロセス制御計算機システムの構成は、集中形から分散形に移行しつつある。従来の分散形のアーキテクチャは集中形の計算機をネットワークで接続し、各計算機間を論理回線通信機能で結合したもので、ネットワーク構成の変更追加などへの対応が困難で分散システムに適したアーキテクチャが必要となった。

自律分散システムは、信頼性が高く保守性・拡張性に富ん だ分散処理システムを容易に構築することを目的として開発 されたシステムアーキテクチャである。

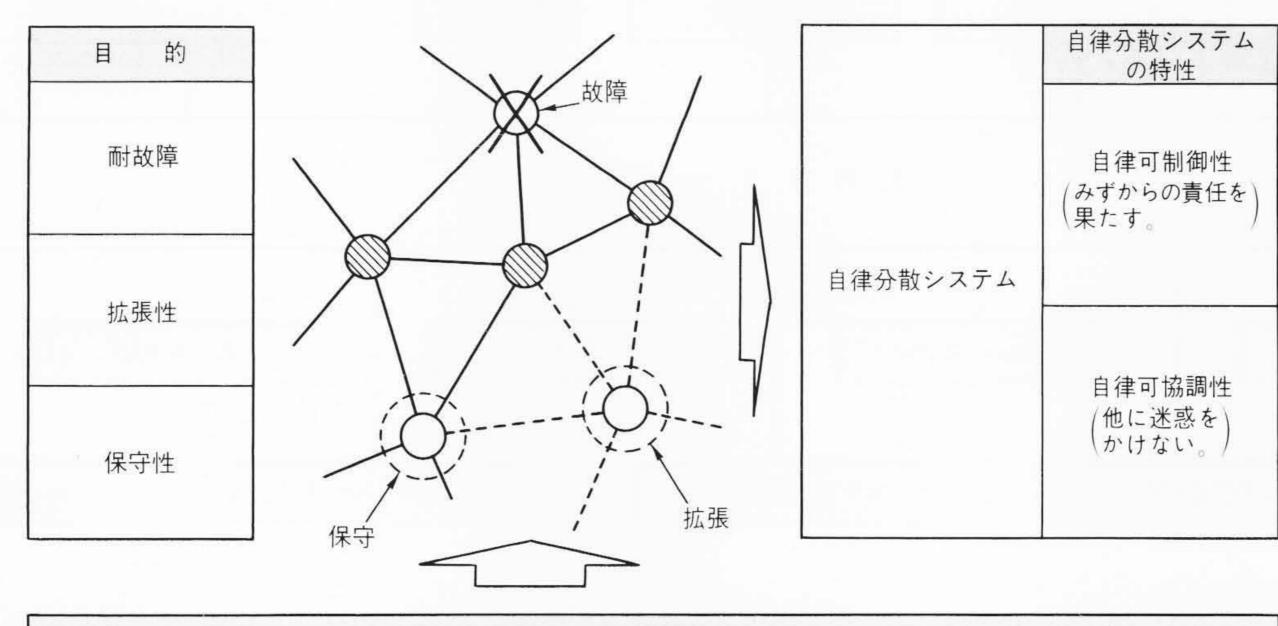
5.1 自律分散システムの考え方

自律分散システムでは、システムの基本構成単位(サブシステム)を明確にしたうえで、それらの統合によってシステムを構築する。

システム構成は変動するものであり、故障中、拡張中、保 守中のサブシステムを含む状態が通常の状態であるとする。

従来のシステムが、すべてのサブシステムが正常であることを前提としているのに対して、自律分散システムでは、一部のサブシステムが故障中であっても、他のサブシステムは機能し続けシステム全体としては停止しないアーキテクチャを目指している。サブシステムは自律性を持ち、あらかじめ与えられた機能を実行し(自律可制御性)、また他のサブシステムに外乱を与えずに協調動作する(自律可協調性)。

以上の自律分散の概念を図3に示す。



システム構築の観点

- サブシステムを統合したものがシステム
- システムは変動し、故障中、拡張中、保守中のサブシステムを含む。

図3 自律分散システムの概念 自律分散システムの考え方を示す。

5.2 自律分散システムの構成

自律分散システムを実現する論理的システム構造を**図4**に示す。

自律したサブシステムをアトムと称する。アトムをデータが流れる場(以下,データフィールドと言う。)に接続する。アトムはデータフィールド上を流れるデータから必要なデータを選択収集し,処理を実行し,結果をデータフィールドへあ

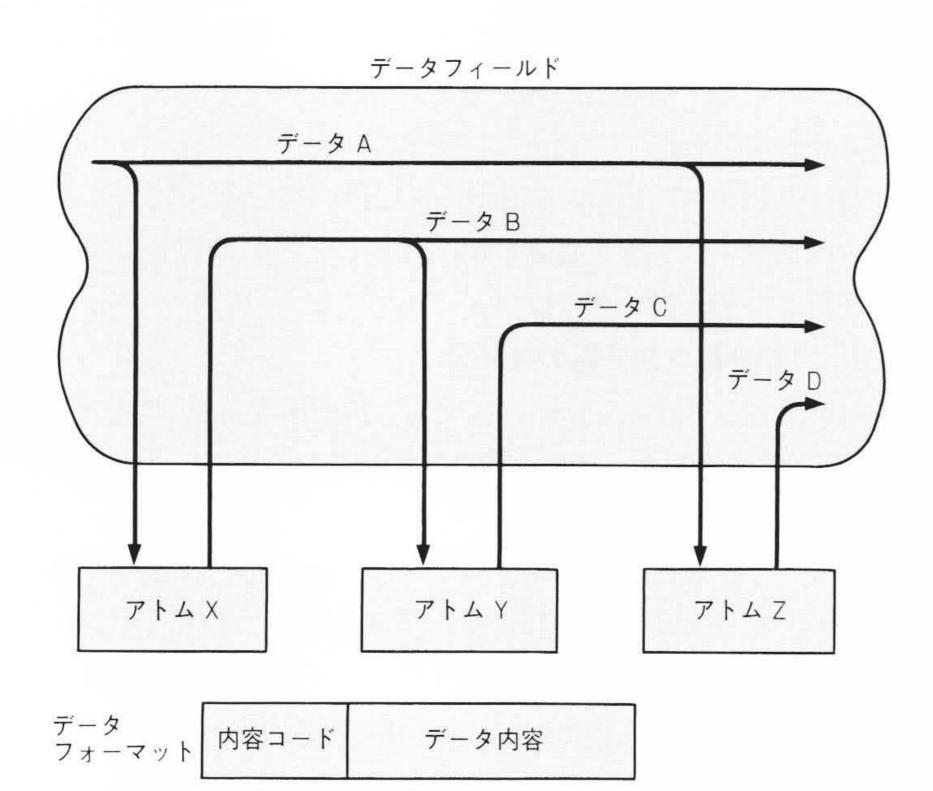


図 4 自律分散システムの論理構造 各アトムはデータフィールドから必要なデータを選択収集し、処理結果をデータフィールドへ送出する。

て先を指定せずに送出する。データは、その内容を示す内容 コード(以下、機能コードと言う。)と、データ内容そのものか ら成る。

このように、すべてのアトムはデータフィールドだけとインタフェースを持ち、必要なデータがそろえば起動し、非同期並列処理を実行する。

各アトムは独立しており、データフィールドの任意の場所に、いつ接続されても直ちに機能し、システムの全体構造や他のアトムの状況にかかわらず、データフィールド上のデータとそれぞれの局所的情報だけで機能する。このような論理構造を実現するため、ハードウェアおよび自律分散OSを開発した。

データフィールドは機能コード通信機能を付加した制御系ネットワークによって実現する。機能コード通信機能は、データ内容を示す機能コードをデータに付加し、ネットワーク上の全ステーションにブロードキャストするものである。各ステーションは、あらかじめ決められた機能コード付きデータを受信すると自動的にデータを取り込む。ネットワークは障害検出・回復機能を持ち、障害発生時には自動的にう回路を生成する。

アトムはネットワークに接続されたプロセス制御計算機に対応する。機能コード付きデータをネットワークのステーションから取り込み、必要なソフトウェアモジュールを起動し(データ駆動形)、その処理結果を機能コード付きデータとしてステーションに送出するための自律分散OS(ACP: Autonomous Control Processor)を計算機に組み込む。各計算機内のソフトウェアモジュール間のリンケージについても、ACP

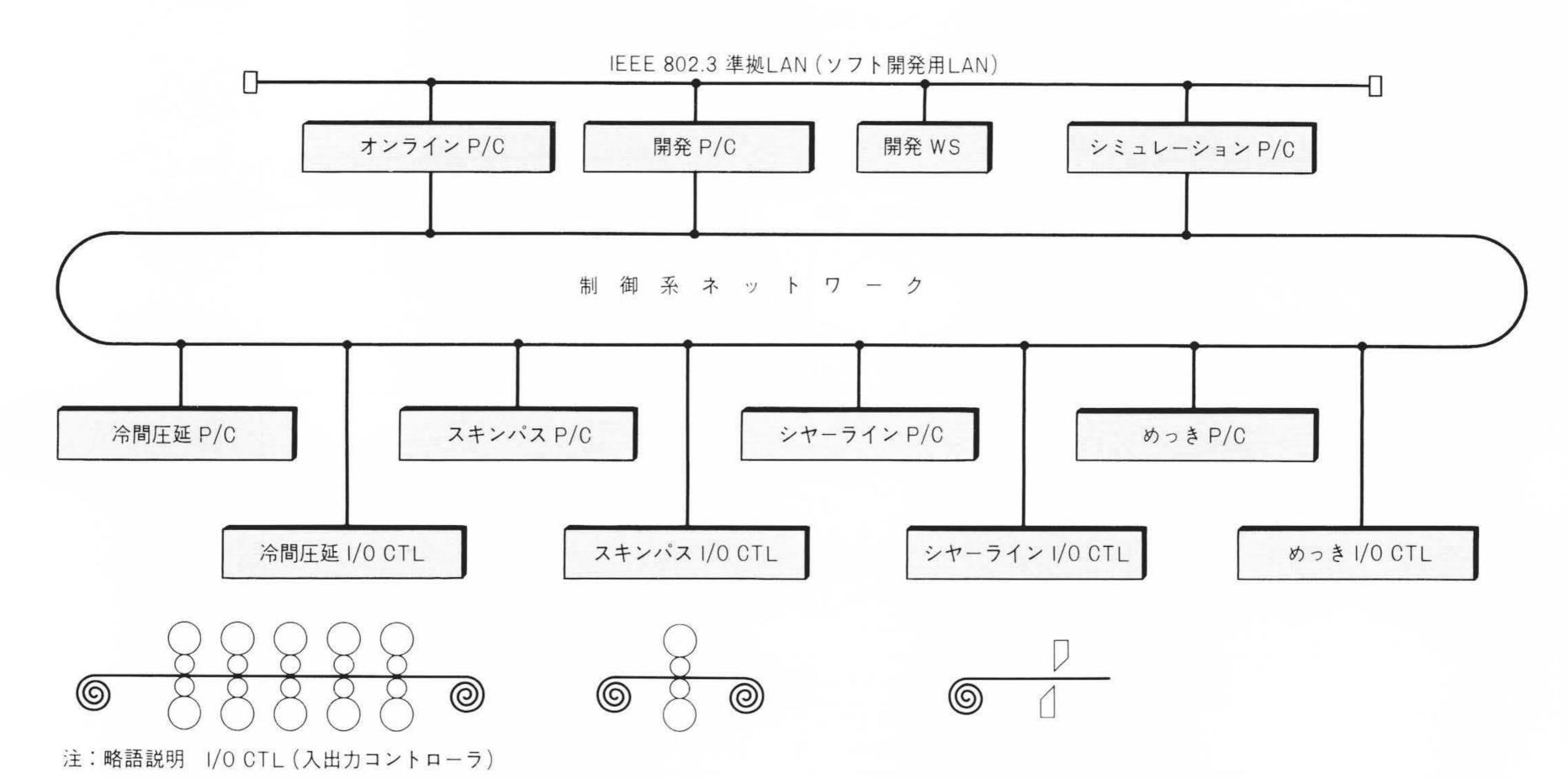


図 5 自律分散システム構成例 冷間圧延機から精整ラインまでを統合した冷間圧延地区全体のネットワークシステムの構成例を示す。

に計算機内のブロードキャスト機能を持たせ,ネットワーク 間のインタフェースと同一とする。

自律分散システムは、主に圧延・精整ラインに納入されている。冷間圧延地区での自律分散システムの構成例を図5に示す。冷間圧延機工場から精整ラインまで冷間圧延地区の全工場をネットワークで統合した大規模システムであり、段階的な構築やオンライン保守が要求される。

5.3 自律分散システムの特徴

自律分散システムの特徴としては、信頼性・保守性・拡張 性をあげることができる。

(1) 信頼性

自律分散システムは独立したサブシステム機能によって構成されており、一部分の機能障害が全体に波及しない構造を持たせたため、本質的に信頼性が高い。また、データフィールドにバックアップ用の計算機を接続し、既設システムの変更なしに容易に二重化システムを構築できる。

(2) 保守性

システム内に保守中のサブシステム機能が存在しても,自 律分散システムは動作可能である。各サブシステム機能間の リンケージは,すべて機能コード付きデータにより行われ, システム内のすべてのサブシステム機能間のリンケージデー タがデータフィールド上を流れている。このため既設機能の 改造なしに監視機能をデータフィールドに接続し,システム 内の動作監視が容易にできる。

データフィールド上で、各サブシステムが取り込む機能コードを管理し、システム全体のデータの流れ構造を認識できるので保守が容易である。システム内の全データがデータフィールド上にあるため、オンラインデータによるパラランテストシステムが容易に構築できる。

(3) 拡張性

システムのデータはすべてデータフィールド上を流れており,データフィールドに計算機を追加接続した場合でも,すべてのデータが取込可能となっている。既設システムの改造

も不要であり容易にシステムが拡張できる。また、段階的な システム構築がやはり無理なく可能である。

各計算機の機能分担の変更や負荷分散も、ネットワーク間と計算機内の機能コード通信インタフェースが同一のため、ソフトウェアモジュールの変更なしに可能となる。

5.4 自律分散システムのソフト開発支援

自律分散システムはデータ駆動形のアーキテクチャを持ち、システム設計の手法も従来とは異なり、機能コード中心の設計作業となる。設計開発効率の向上をねらって、自律分散ソフト設計・開発支援システムを開発した。各作業フェーズごとの支援内容を図6に示す。

ソフト設計フェーズでは、大量の機能コードデータの設計を支援する。機能コードとデータ項目の入力およびソフトモジュールの入力によって、機能コード・ソフトモジュール・データベースを生成し、機能コードデータ設計の不整合チェック(二重定義、未定義、クロスリファレンス)とデータフローの合理性チェックとを自動化した。入力およびチェック結果の表示はワークステーションのグラフィック端末で行う。データフローの表示例を図7に示す。ソフトモジュールの結合状況と指定モジュールの入出力データが表示されており、システム構造の把握・チェックが容易にできる。

プログラム開発フェーズでは、自律分散システムがデータ 駆動形であり、ソフトモジュールの構造が入力部、処理部お よび出力部に分離定形化が可能であることに着目し、機能コード・ソフトモジュール・データベースから入出力部を自動 生成する。さらに、入力データの値域チェック処理および異 常処理手続きについても自動生成する。これらの自動生成に より、プログラム作成量を低減し作成効率の向上を図ること が可能となる。この入出力部自動生成機能の説明を図8に示す。

プログラムテスト・保守フェーズでは、機能コード一覧表、 データ項目一覧表およびソフトモジュール一覧表を提供し、 機能コードやソフトモジュールの変更統合時のチェックや保 守を支援する。

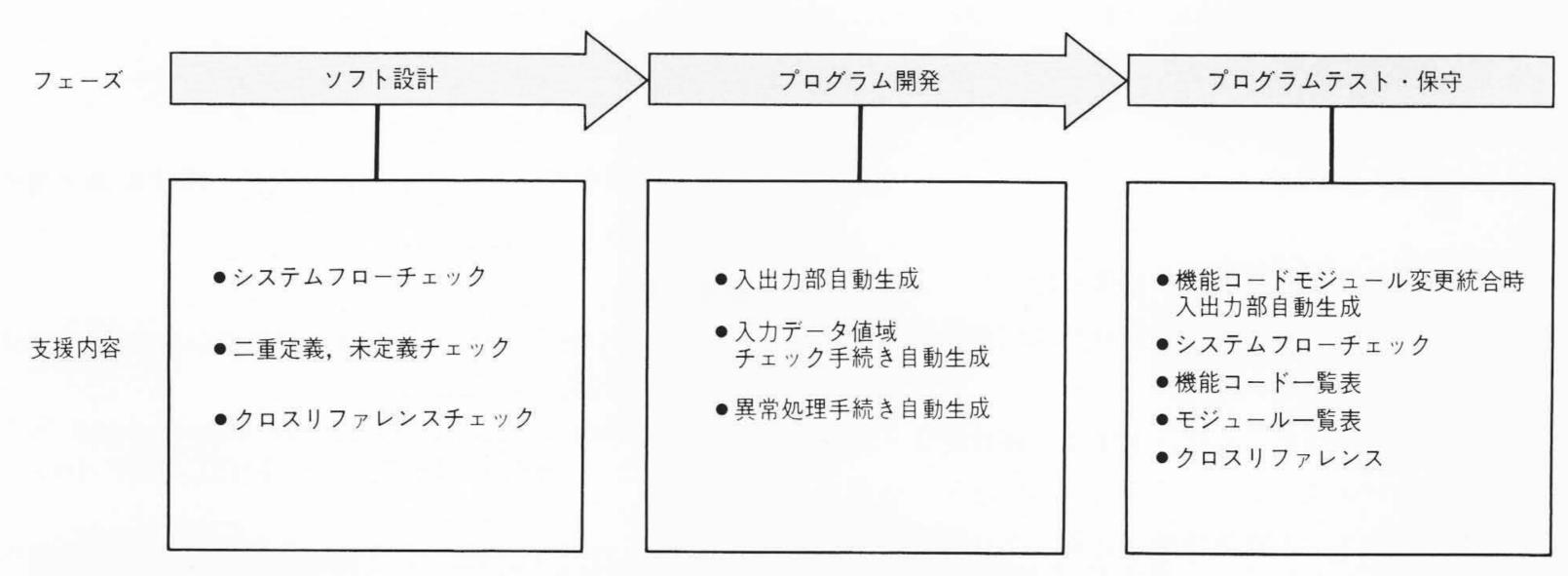
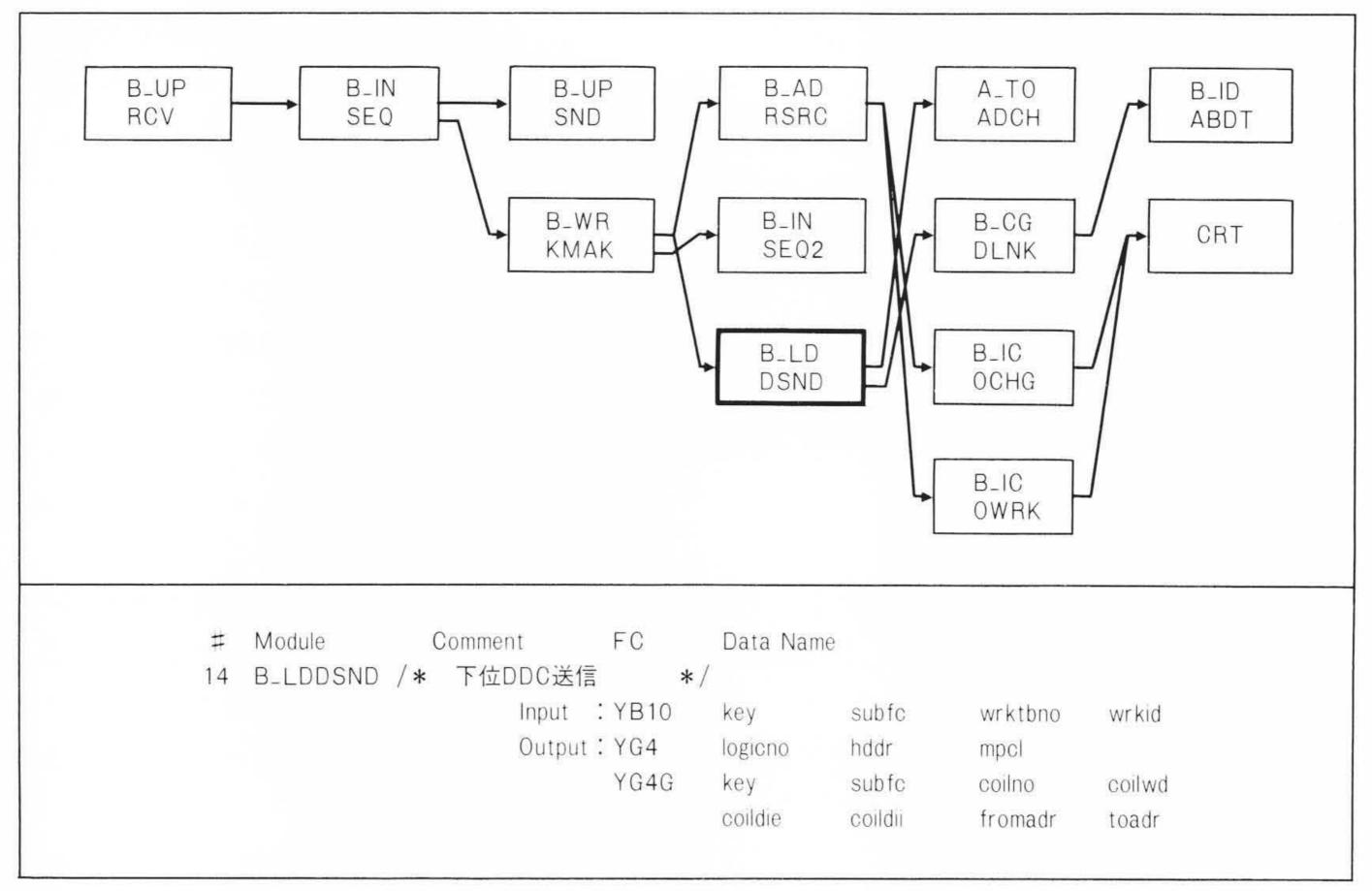


図 6 自律分散ソフト設計開発支援 自律分散システムのソフト設計フェーズから保守まで開発支援を行う。



注:略語説明など FC (機能コード), Data Name (データ項目)

図 7 データフロー表示例 上部はソフトモジュール間のデータ結合フローを示す。下部は指定モジュール(太枠) の入出力データを示す。

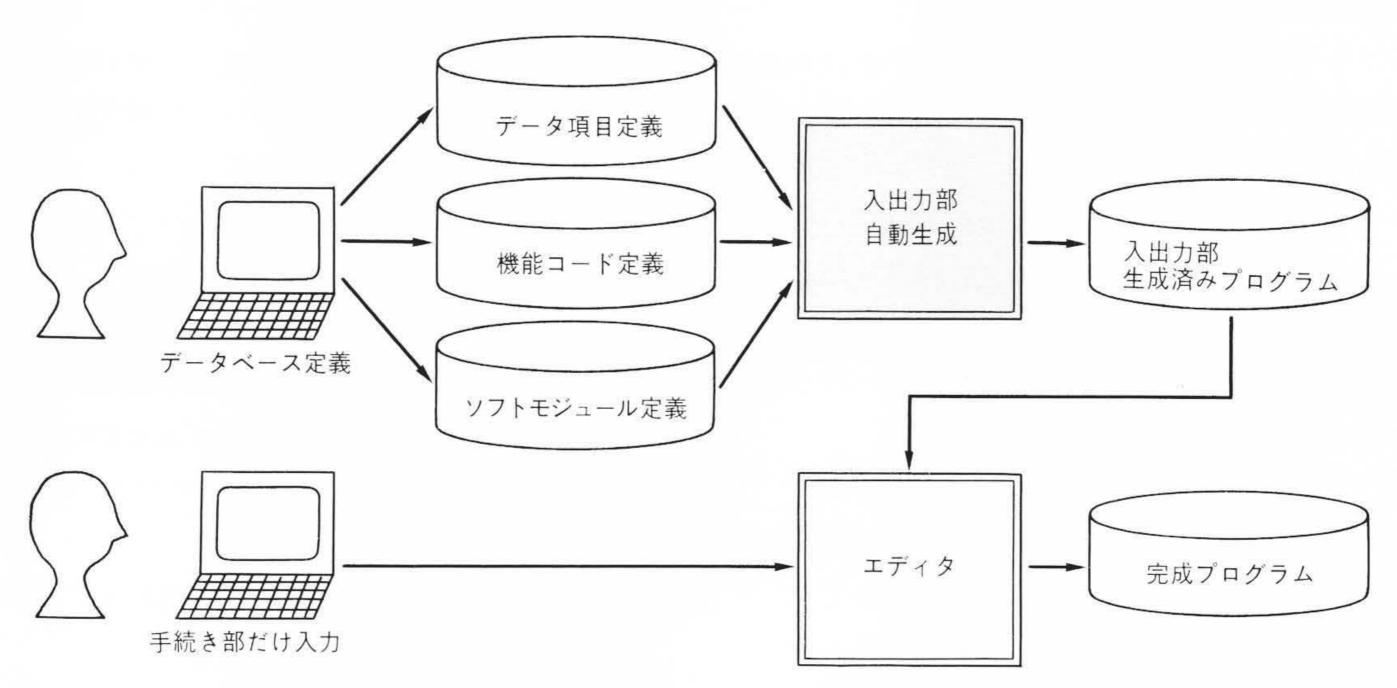


図8 プログラムの入出力部自動生成機能 データ項目、機能コード、ソフトモジュール定義からプログラムの入出力部を自動生成する。自動生成したプログラムに手続き部を入力し、プログラムが完成する。

6 結 言

ネットワーク,ソフト開発環境,自律分散システムを中心に最近の圧延・精整ラインでの分散プロセス制御計算機システムの構築技術について述べた。

プロセス制御計算機システムは,ますます高機能化・高性 能化し,ノーダウンシステムのような信頼性の確保が必要と なり,より高度のシステム構築技術が必要とされる。

自律分散システムは、すでに100台以上の計算機に適用され

順調に稼動中であり、今後さらに改良・機能拡張を進めていく計画である。

参考文献

- 1) 森,外:自律分散概念の提案,電気学会論文誌C, Vol.104-C, No.12, 303~310(1984)
- 2) K. Mori, et al.: Autonomous Decentralized Software Structure and Its Application, FJCC, 1056~1063, Nov. (1986)
- 3) 中井, 外:自律分散システム技術の制御分野への適用の現状, 電気学会誌, Vol.109, No.11, 898~902(1989)