

(論文)

# Web技術を活用した次世代のプロセスコンピュータ

## Web Technology Advanced Process Computer Systems



貝原保男\*  
Yasuo Kaihara



三角龍平\*  
Ryuhei Misumi



古賀康彦\*  
Yasuhiko Koga



長谷川裕之\*  
Hiroyuki Hasegawa



桂 寛\*\*  
Hiroshi Katsura

Kobe Steel has developed a new process computer at the Kakogawa Works that uses Web technology (such as J2EE). This process computer has increased the accessibility to plant information and software reusability through the advantages of the Java language and its object-oriented design method. We also have developed a trend database system, using Web technology, which can store continuous quality data for steel manufacturing processes.

まえがき = 鉄鋼製品の製造プロセスにおいて、コンピュータ活用の歴史は古く、すでに1960年代には主要な鉄鋼製造ラインでの活用<sup>1)</sup>が始まっている。鉄鋼を製造するに当たり、多くのシステムがかかっているが、特に製造プロセスにおける機器制御や操作員への情報支援の役割を担っている計算機をプロセスコンピュータ(プロコン)と呼んでいる。

一方、情報技術(IT)の進歩と普及は近年目覚ましいものがあり、総務省の家計消費状況調査結果によれば、今やインターネットの利用者は国内全世帯の47%(平成17年調査)に上っている。このインターネットを構成するシステムを支えているのがWebサーバやデータベースサーバ(DBサーバ)といった各種サーバ群であり、それらを構成するハードウェアやソフトウェアといったいわゆる「Web技術」である。Web技術は、単にインターネットで使用されるだけにとどまらず、企業の基幹業務システムにも適用される技術<sup>2)</sup>として、システム分野でも大変関心の高い技術である。

本稿では、このWeb技術をシステム基盤とする新しいプロコンを構築し、運用を開始したので紹介する。

### 1. 従来のプロセスコンピュータシステム

図1に当社加古川製鉄所の代表的なプロコンである熱延プロコンを例に製鉄所全体のシステム階層を示す。最上位のビジネスコンピュータ(ビジコン)を頂点に、各工場・設備単位のプロコン、各設備・機器単位のProgrammable Logical Controller(PLC)/Distributed Control System(DCS)といった制御装置からなる3階層の構成をとっている。もともとプロコンは、上位ビジコンと下位PLC/DCSとの間に位置して、ビジコンで計画された製造計画を受信して操作員に鋼材の製造指示を行ったり(製造指示)、プロセスより各種センサ情報を収集して

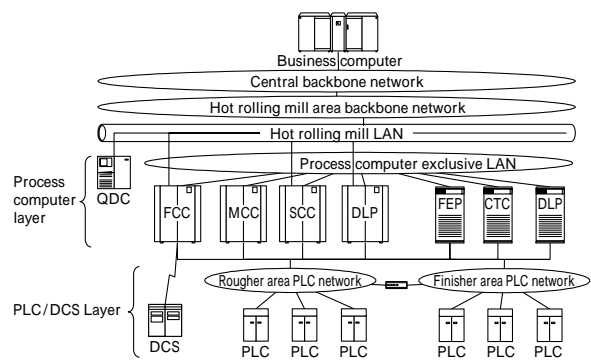


図1 加古川製鉄所のシステム階層図(熱延プロコンのケース)  
Fig. 1 System hierarchy of Kakogawa Works (Hot strip mill process computer)

(実績収集)それらを画面表示したり(運転監視)、それらをもとに理論モデルに基づいた複雑な演算を行って制御に必要な情報をPLC/DCSに送信したり(統括制御)することが主要な役割であった。

一方、CPUやICチップといった電子機器のハードウェアが急速に技術進歩するに伴い、プロコンのダウンサイジング化が1990年代より進んだ結果、PLC/DCSとの接続性からプロコン専用のハードウェアやソフトウェアを使用するのをやめて、汎用のワークステーションやPCサーバと汎用オペレーティングシステム(OS)であるWindowsやUNIXを使用するようになった<sup>3)4)</sup>。これにより初期投資コストは大きく下がったが、システムの機能や開発方法自体が大きく変わることは無かった。

### 2. Web技術を活用した次世代のプロセスコンピュータ概要

上位のビジコンと下位の制御装置との間にあるプロコンは、上位の企業戦略や生産計画と実際のモノづくりの現場とをつなぐ中核として、今後ますますその重要性を増すシステムと考えている。しかし、そのような重要性

\*鉄鋼部門 加古川製鉄所 制御部 \*\*鉄鋼エンジニアリング&メンテナンス システムエンジニアリング部

を増すためには、現在よりもさらにシステムから情報を得て、それを生産活動に活かす仕組みでなければならない。

インターネットや電子メールの普及を考えれば明らかのように、情報の参照が容易になればそれだけ人はシステムを活用する。そこで、次世代のプロコンでは情報の徹底したオープン化を図ることを目指した。また、単に情報をオープン化するだけではなく、従来は収集して必要な処理が終わると抹消していた膨大な品質・操業データも可能な限り保存しておいて、社内の技術スタッフや操作員の情報ニーズに迅速に応える機能を構築することで、より良い製品作りに貢献したいと考えた。

一方、システムを構築・運用するという観点ではシステムの Total Cost of Ownership (TCO) 低減が大きな課題であり、Web 技術の中には TCO 低減を図りながら高い信頼性を確保する仕組みも含まれている。Web 技術の活用にあたり、単に情報のオープン化を図るだけでなく、システムの TCO 低減と信頼性向上もあわせて実現したいと考えた。

そこで、「情報の徹底したオープン化」、「TCO 低減」、「信頼性向上」という基本方針に基づいて、Web 技術を活用した次の 2 種類の次世代プロコンを構築している。

- Web 型プロコン
- トレンド情報データベースシステム

Web 型プロコンは、3 号連铸プロコンと溶鋼処理プロコンの更新として、トレンド情報データベース (トレンド DB システム) は 2 号連铸機を対象に新規に、それぞれ構築したので次章以降で詳しく紹介する。

### 3. Web 型プロコン

#### 3.1 Web 型プロコンのハードウェア構成

図 2<sup>5)</sup> に Web 型プロコンのハードウェア構成を示す。エッジサーバ、アプリケーションサーバ (AP サーバ)、DB サーバからなる 3 階層 2 重化システム構成をとり、システム構築費用の低減を目的に徹底して汎用の PC サーバを採用しているが、機能を分担する各階層でそれぞれ冗長化することで信頼性の向上も図っている。一方、物理的なハードウェア自体も機能によって分けることで、システム構築の分業化や複数のベンダから提供される汎用ミドルウェアの安定性、システムとしての拡張性を確保している。

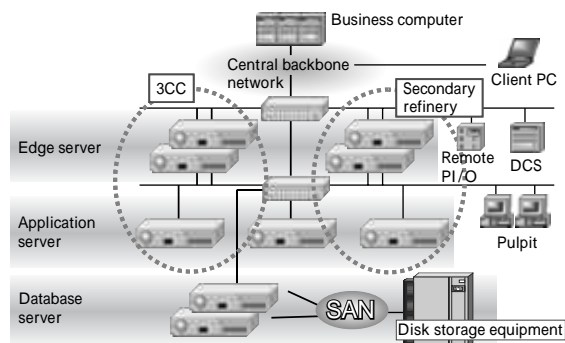


図 2 Web 型プロコンのシステム構成図

Fig. 2 System configuration of Web type process computer

#### 3.2 Web 型プロコンにおける情報のオープン化

従来のプロコンは、専用端末方式やクライアントサーバ方式でシステムの情報を表示していた。これらの方式は、専用ケーブルを敷設したり、専用ソフトを端末側に持たせたりする必要があるため、定められた端末以外では情報を参照できない問題があった。Web 型プロコンでは、インターネットの技術を徹底して使用しており、端末側には Web ブラウザがあれば情報の参照が可能で、なんら特別な工事やソフトウェアは必要ない。

また、リレーショナルデータベース管理ソフトウェア (RDBMS) と大容量外部ディスクストレージ装置を導入したことで、年単位での長期間大量データを保管・参照することが可能となっている。表 1 に従来のプロコン、Web 型プロコン、そして次章で説明するトレンド DB システムとの違いを示す。

従来のプロコンでは、上流製造プロセスの情報参照をしようとするとそのデータが必要なプロコンごとと同じデータを持たなければならなかったが、Web 型プロコンでは、「端末の場所を選ばない」、「長期間のデータ保管・参照が可能」といった特徴から多重に持つ必要はなく、データの一元管理が可能となっている。また、機能制約の多かった中長期の事例学習機能や過去の詳細な操業情報の参照、あるいはデータのダウンロードといったことも可能である。このように Web 型プロコンは、製造プロセス情報の一層の活用を可能とする画期的なプロコンであり、鉄鋼製造技術のレベルアップや操作員への大きな情報支援を可能としている。

#### 3.3 Web 型プロコンの TCO 低減への取り組み

Web 型プロコンは、システムの TCO 低減のために 3.1 節で述べたように、汎用の PC サーバを使用することでハードウェアコストの低減を図っている。しかし、それ以外にも様々な取り組みを行っているので紹介する。

##### 3.3.1 ソフトウェアの再利用

Web 技術の大きな特徴の 1 つに、ソフトウェアの部品化と再利用性に関する仕組みがある。Web 型プロコンは、様々な機能を実現するアプリケーションソフトウェア (アプリ SW) をすべて Java 言語で製作した。Java 言語を採用した理由は、特に以下の 2 点の特徴<sup>6)</sup>に着目したからである。

- ソフトウェアを再利用しやすい
- OS に依存しないアプリ SW を製作できる

ソフトウェアの再利用という点では、Java 言語を使用

表 1 従来型プロコン、Web 型プロコン、トレンド DB システムの機能の違い

	Conventional type	Web type	Trend DB
Manufacturing instruction			×
Data acquisition			
Supervisory control			×
Reporting			
Ease of accessing to system	×		
Long-term data storing			
- Discrete data	×		
- Continuous data	×		
Data download to PC	×		
Reuse of software			
System monitoring at anywhere	×		×

: Capable and suitable    : Capable but unsuitable    × : Incapable

し、オブジェクト指向設計手法などを用いて再利用率を高めることでソフトウェアの高い生産性を達成したという報告<sup>7)~11)</sup>が、既にシステム分野ではなされている。一方、従来のプロコンではFORTRANやC言語、あるいはそれらに類似のハードウェアメカ専用言語を使用してプログラムを製作していた。これらの言語は、手続き型言語と呼ばれるものでオブジェクト指向設計手法には対応できない。そのため、ソフト部品やそれを呼ぶ側に当たるフレームワークの再利用がなかなかできなかった。たとえできたとしても、ソフト部品に詳しいシステムエンジニア(SE)やプログラマの属人化という問題を生じていた。

Web型プロコンは、今回はじめてJavaで製作したシステムであるため将来の再利用に向けた準備段階にあるが、将来的には先行する他業界と同等の高い生産性を実現できると考えている。なお、ソフトウェアの再利用実績として、溶鋼処理プロコンではWeb型プロコンに更新した後に溶鋼の2次精錬設備であるNo.3RH設備の建設に対応したが、No.2RH設備のソフトウェアを再利用したため、No.3RH向けに製作した量はNo.2RHのそれに比べて11.2%であったことを紹介する。

次に、Javaで製作したソフトウェアはOSに依存しないというメリットがあるため、Web型プロコンはハードウェアの更新時に大幅にコスト低減できると考えている。従来、プロコンを更新するに当たってアプリSWの機能はほとんど変化しないのに、ハードウェアが進化するのに伴いOSやミドルウェアが変更となることが原因で、アプリSWを全面的に作り直していた。Web型プロコンの場合、ハードウェアが老朽化して更新する際にもアプリSWの大半は流用できると考えており、システム投資コストを大幅に低減できると考えている。

### 3.3.2 機能の高い独立性

Web型プロコンは、システムのソフトウェア構成面でJ2EE(Java2 Platform, Enterprise Edition)<sup>12)</sup>やMVC(Model-View-Controller)モデル<sup>13)</sup>を採用することで、機能の部品化が容易になっている。その結果、担当のシステムエンジニアに依存しがちな機能分割が、これらの「仕組み」によって「アプリSWの業務ロジック部分」、「画面や帳票といった人に見える部分」、「システムに入力されたメッセージを配信処理する部分」の3つに明確に分割されることとなった。また、Java言語はプログラムの読みやすさ(可読性)が高いため、手続き型言語に比べて高い機能独立性と可読性から、システム構築時や保守運用時の効率化<sup>14)</sup>が期待される。実際に、Web型プロコン構築時にはMVCモデルに則って、分業で開発したがそれによる問題はほとんど発生しなかった。

### 3.3.3 汎用パッケージソフトウェアの採用

ハードウェアだけでなく、ソフトウェアにおいても汎用技術を導入することにより構築コスト低減を図っている。特に、単に市販パッケージソフト(PKソフト)を用いてコスト低減をするのではなく、システム構築技術が可能な限り特殊化しないことを念頭に置いた。表2に採用した汎用ソフトウェアをまとめる。

## 3.4 システムの信頼性向上への取り組み

### 3.4.1 フェイルオーバー機構による信頼性向上

前述のように各サーバは階層ごとに2重化されており、万一障害が発生した場合にも自動的に待機系に切替わる機構を持っているが、これに加えてAPサーバとDBサーバについては当社のプロコンとして初めてフェイルオーバー機構を備えた。これは万一障害が発生すると自動的に待機系に切替わるだけでなく、切替え中の入力データを保持して切替え完了後から処理を継続できる仕組みである。

### 3.4.2 システムの保守運用面での信頼性向上

従来もプロコンの安定稼動のために、万一部品が故障した場合でもシステムを止めることなく直ちに部品交換が可能な「活性保守」という技術を導入するなど、システムの保守運用面でも信頼性向上に努めてきた。しかし、Web技術の普及は保守運用面でも信頼性向上に関する機構の開発に拍車をかけ、Web型プロコンでも一部導入したので、以下に紹介する。

#### 1) 予兆監視

Web型プロコンでは、部品故障の予兆現象から検知して、故障状態に至る前に部品交換を促す予兆監視という技術を導入した。

これは主に大容量外部ディスクストレージ装置に関するもので、ハードディスク故障によるシステム障害を未然に防止することが目的である。Web型プロコンでは当社のプロコンとして初めてRDBMSを全面的に導入しているが、Web技術で主流となっているRDBMSにとってハードディスク故障によるデータ破壊は回復が困難で、絶対に防がねばならない障害である。そこで、Web型プロコンではRDBMSのデータを「パトロール機能」と「冗長化コピー機能」を備えたディスクストレージ装置に格納して信頼性をさらに向上させた。それぞれの機能については、表3にまとめた。

#### 2) 稼動監視

従来の稼動監視は、プロコンの保守員が計算機室を巡回して目視、もしくはシステムごとの管理端末の操作で状態を監視するのが普通であった。

Web型プロコンでは、「運用管理サーバ」と呼ぶ専用

表2 Web型プロコンで使用している汎用ソフトウェア  
Table 2 Web type process computer using general purpose software

Server operating system	Red Hat Enterprise Linux
Client operating system	Windows XP
Web service middleware	Interstage Application Server Standard Edition
Relational database software	Oracle 9i Enterprise Edition
Web browser	Microsoft Internet Explorer

表3 予兆監視機能  
Table 3 Detecting function of foretaste of failure

Function	Feature
Disk patrol	Checking some sector of the whole disk area periodically, including rare accessing sector
Redundant copy	Copying from disk having a foretaste of failure to hot spare disk without losing redundant property

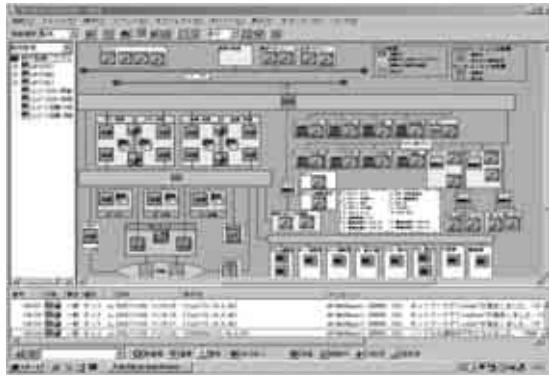


図3 システム監視画面サンプル  
Fig. 3 Sample view of system monitoring

表4 稼働監視項目の Web 型プロコンと従来プロコンとの違い  
Table 4 Monitoring item difference between conventional type and Web type

	Parts name	Monitoring ability	
		Conventional type	Web type
Server unit	CPU	x	
	Memory module	x	
	Cooling fan		
	Power supply unit		
	Voltage	x	
	Raid control board	x	
	Hard disk unit		
	Temperature		
Peripheral equipment	Disk storage device	x	
	UPS		

: Capable : Partially capable x : Incapable

サーバにより図3のような画面でシステム全体の状態を監視できる仕組みを構築している。これも Web 技術の1つであり、保守員がどこにいてもどの端末でも監視できるようにしている。また、監視項目も表4に示すように従来よりも大幅に増やしており、よりキメ細かくで効率的な運用保守が実現できている。

### 3) リモート通報

予兆監視、稼働監視による新しい技術の導入により、平日昼間の保守運用レベルは確実に向上しているが、プロコンの保守員が不在の休日夜間は従来のままである。そこで、Web 型プロコンではリモート通報というインターネットを活用した技術を導入して、休日夜間の保守運用レベル向上にも取り組んでいる。図4<sup>15)</sup>はリモート通報の概念図である。故障予兆や部品故障を検知すると、運用管理サーバはダイヤルアップルータ経由でメーカーのサポートセンタへ電子メールによって発生事象と関連情報を送信する。サポートセンタでは、メッセージを解析して発生状況と事象の緊急性や対応すべき内容について、当社保守員の携帯電話・PHSに通知する一方、メーカーエンジニアにも出勤要請と必要部品などの指示を行うというものである。これにより、休日夜間の故障対応時間を従来比40%程度に短縮できている、一層の信頼性向上を実現している。なお、インターネットを活用するに当たり、外部からの侵入などセキュリティ対策も万全を期しているが詳細は割愛する。

## 4. トレンド情報データベースシステム

Web 型プロコンと同様に新しい概念のプロコンとし

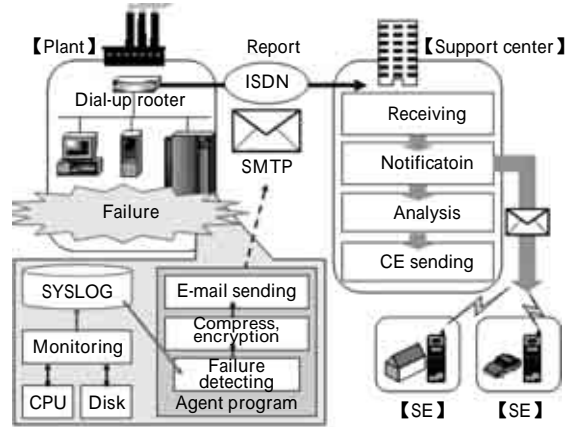


図4 リモート通報の概念図  
Fig. 4 Concept of remote reporting maintenance

て構築したのが、トレンド情報データベース(トレンドDBシステム)である。トレンドDBシステムは、情報のオープン化という基本方針に加えて、Web 型プロコンのような汎用のRDBMSが苦手とする「連続大量データの長期保存」に特化したシステムで、品質異常対応の更なる迅速化とより高度な品質管理体制の構築のために新たに導入した。

### 4.1 トレンドDBシステムのハードウェア構成

2号連铸向けシステムの機器構成を図5<sup>16)</sup>に示す。ハードウェアは、Web 型プロコンと同様にすべて汎用のPCサーバを採用しており、ハードウェアコストの低減を図っている。

トレンドDBシステムの機能は、大きく3つの部分に分かれる。第一がデータを収集する機能部分であり、図中の収集ノードと呼ぶ計算機がそれにあたる。収集ノードはPLC/DCSやセンサからデータ項目ごとに定めた収集周期に従って集め、後述の圧縮をした後にトレンドDBサーバに送信する。第二がデータを蓄積する機能部分であり、図中のトレンドDBサーバがそれにあたる。収集ノードから送られたデータを受信後、さらに別な圧縮を行い、収集したデータで演算した加工データや製品を特定するIDナンバと紐付けなどを行ってハードディスクに保存する。最後が保存されたデータをユーザの分かりやすい仕様に表示する機能部分であり、クライアントPCやWebサーバがそれにあたる。

### 4.2 トレンドDBシステムにおける情報のオープン化

トレンドDBシステムにおいても、Web 技術の活用に

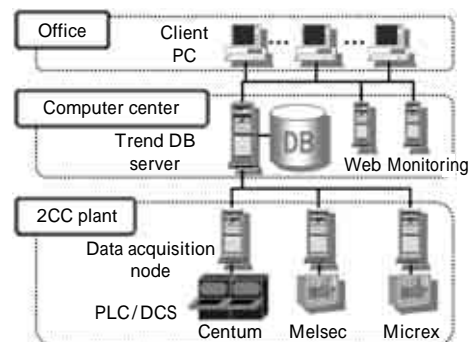


図5 トレンドDBシステムのシステム構成図  
Fig. 5 System configuration of trend DB system

より Web ブラウザがあればどの端末でも参照が可能である。また、トレンド DB の特徴としては、保存されたデータを事務所で使用するパソコン (PC) の Excel に簡単にダウンロードでき、ユーザによる詳細なデータ解析に対しても容易なデータ操作を可能としている。

一方、年単位の長期間大量データを保管・参照することが可能となっている点も Web 型プロコンと同様である。しかし、Web 型プロコンで使用する汎用の RDBMS では、データの保存に大規模な装置と多額の構築費用が必要となってしまう。そこで、TCO 削減の機構について次節で紹介する。

#### 4.3 トレンド DB システムの TCO 削減への取組み

##### 4.3.1 データ圧縮機構

トレンド DB システムは、特に製品品質に関するデータを中心に、設備の動作データや制御装置の制御データなど品質にかかわる多くのデータの一元的な管理をしなければならない。これには、膨大な連続データの保管と迅速な参照を実現する必要がある。表 5 に計画段階における品質データの各製造プロセスにおける保存点数と周期、そして 3 年間保存した場合の想定データ量とネットワーク負荷を示す。これを Web 型プロコンのような汎用 RDBMS を使用して実現すると、巨大な計算機資源と多額の投資コストが必要となるため、トレンド DB システムではデータの圧縮を行っている。

トレンド DB システムは、「変化幅圧縮」と「傾向圧縮」という 2 種類の圧縮を行うことでデータ蓄積量とネットワーク負荷の低減を実現している。図 6 にその圧縮の仕組みに関する概念を示す。まず、収集した生データのう

表 5 最終構成で予想されるデータ量とネットワーク負荷

Table 5 Assumption of traffic and data volume in case of final configuration

Plant	Collecting cycle (sec)	Tag number	Traffic (Mbps)	Data volume for 3 years (T Byte)
Steel making	10.0	1,750	0.7	2.8
	1.0	3,250		
Plate	10.0	1,000	2.0	8.3
	0.1	1,000		
Sheet	10.0	1,000	2.0	8.3
	0.1	1,000		
	10.0	2,000	2.0	8.3
	0.1	1,000		
Coating	10.0	500	1.0	4.4
	0.1	500		
Wire	10.0	1,000	2.0	8.3
	0.1	1,000		
Total		15,000	9.7	40.3

ち一定の変化幅以内のものは間引き、次に傾きが一定の変化以内のものも間引くようにしている。これにより、データのトレンド特性は保持しながらも蓄積データ量自体は低減することが可能となっている。

表 6 は、検証システムを構築してスラブ連続設備と熟延工場でテストした際の結果で、いずれも高い圧縮率を実現できていることが分かる。2号連続の実機システムでは、データの圧縮対象変化幅を 0.1% に設定して実績平均 95.7% という高い圧縮率となっており、計算機資源と投資コストの低減に大きく貢献している。

##### 4.3.2 パッケージソフトウェアの活用

トレンド DB システム構築に当たっては、汎用の RDBMS ではなく専用の PK ソフトを採用した。トレンド DB システムの主要な要件は、前述のように大量データを保存し、その中から必要な連続データを高速に検索し、そして Web ブラウザで参照あるいは Excel などにダウンロードすることである。鉄鋼特有の要件は無く、逆に汎用の RDBMS ではできない高速検索が要求されるため、安価で製造業で広く使用されている専用 PK ソフトがもっともふさわしいと判断した。また、PK ソフトを使用することで安定性も高く短工期、すなわち低コストであるということも期待した点である。

実機システムでは、着工から 3 カ月でデータ収集が可能となり、6 カ月後にはユーザの正式使用を始められるなど、従来のプロコンに比べて明らかに短工期であった。また、安定性という点でも、制御装置との接続ソフトウェアなど従来のプロコンでは支障の生じやすい部分でも安定して動作しており、安定性という点でも想定ど

表 6 検証システムで得られた圧縮率実績

Table 6 Actual ratio of compression in case of trial system

	Data item	Threshold	Comp. ratio	Average
Slab/CC	Mold level	0.1mm	32.9	66.9
	Sliding gate valve opening	0.1%	40.5	
	Casting speed	0.01mpm	99.2	
	Tundish weight	0.1ton	95.1	
Hot rolling	Finishing mill delivery gauge deviation	1 μm	51.8	73.3
	Finishing mill delivery width deviation	0.1mm	64.3	
	Finishing mill delivery temperature	1	90.6	
	Coiling temperature	1	86.6	

Compression ratio (%) = (1 - data volume after compression / collecting data volume) × 100

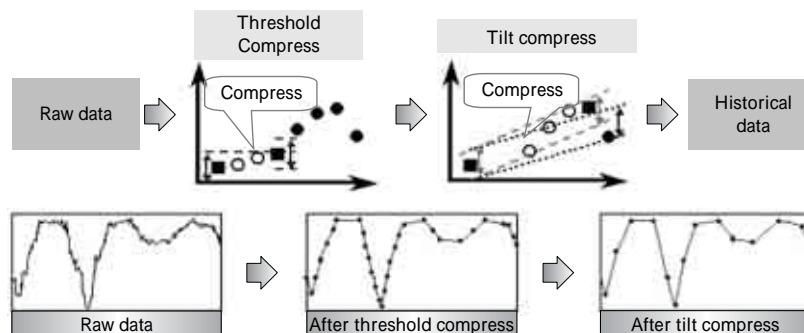


図 6 データ圧縮の概念図

Fig. 6 Concept of data compression method

おりの結果であった。

#### 4.4 信頼性向上への取組み

PCサーバの2重化やハードディスクの2重化などの機構により基本的な信頼性を高めた上に、「データバッファリング機能」と「監視サーバ」によって一層の信頼性向上を図っている。

データバッファリング機能とは、トレンドDBサーバに何らかの異常が発生して正常にデータを保存できなくなると、収集ノードが収集したデータをバッファリングしておき、トレンドDBサーバが復旧した際にその間のデータを徐々に送信することでデータの欠損を防ぐ機能である。

また、トレンドDBシステムの構成機器については、監視サーバが常に状態を監視しており、ハードウェア故障はもちろんソフトウェアの異常などによりデータが収集できないような状況になれば、警報を出して保守員に異常を知らせるようになっている。また、各種の警報なども履歴管理しており、障害発生後の原因究明が確実にできるようになっている。

むすび= Web型プロコン,ならびにトレンドDBシステムはまだ構築が始まったばかりである。今後、これらのシステムを順次拡張して、情報のオープン化を低コストで推進していきたい。また、製鉄所の製造現場における情報支援を積極的に推し進め、お客様に満足される製品とサービスを提供できるように、システム部門においても一層の努力を図る所存である。

最後に、これらのシステムを構築するにあたりご協力

いただいた日本アイピーエム、富士電機システムズ、横河電機の方々へ、この紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧第3版 基礎(1981) p.832, 丸善.
- 2) 西村 崇：日経コンピュータ, 2003.7.14号(2003) p48, 日経BP社.
- 3) 河原健次ほか：新日鉄技報, No.363(1997) p.37.
- 4) 星子廣宣ほか：(社)電気学会 金属産業研究会, MID-98-17(1998).
- 5) 古賀康彦：日本鉄鋼協会生産技術部門制御技術部会提出資料, 制技-132-1-5(2004).
- 6) 西村 崇：日経コンピュータ, 2004.4.5号(2004) p.158, 日経BP社.
- 7) 森側真一：日経コンピュータ, 2004.9.20号(2004) p.154, 日経BP社.
- 8) 高橋信頼：日経オープンシステム, No.107(2002) p.106, 日経BP社.
- 9) 井上 理：日経コンピュータ, 2002.12.2号(2002) p.148, 日経BP社.
- 10) 八木玲子ほか：日経バイト, 8月号(2002) p.77, 日経BP社.
- 11) 吉田 晃：日経システムインテグレーション, 7月号(2005) p.55, 日経BP社.
- 12) 日経オープンシステム編集部：日系オープンシステム, No.113(2002) p.167, 日経BP社.
- 13) 日経オープンシステム編集部：日系オープンシステム, No.113(2002) p.170, 日経BP社.
- 14) 長尾寿宏：日経バイト, 2月号(2004) p.86, 日経BP社.
- 15) 古賀康彦：日本鉄鋼協会生産技術部門制御技術部会提出資料, 制技-134-1-7(2005).
- 16) 長谷川裕之：日本鉄鋼協会生産技術部門制御技術部会提出資料, 制技-134-1-2(2005).