

MADOCA IIを応用した New remon システムの開発

Development of New Remon System using MADOCA II Technology



川 端 馨	Kaoru Kawabata	①
水 谷 光 浩	Mitsuhiro Mizutani	①
宮 元 耕 治	Koji Miyamoto	①
伊 崎 嘉 洋	Yoshihiro Izaki	①
植 田 倉 六	Souroku Ueda	②

あらまし

当社のごみ焼却施設を本社内の遠隔監視センター（2018年10月に先端情報技術センター:A.I/TECとしてリニューアル）で遠隔監視や運営管理を行うため、remon®を運用している。

remonシステムをビッグデータや非構造化データにも対応させ、ビッグデータ解析やAIへの利用拡大を図ることを目的に、大型放射光施設SPring-8の運用機関である（公財）高輝度光科学研究センター（JASRI）が開発した制御フレームワークのMADOCA IIをデータベースに採用し、従来のremonシステムでは実現できなかったパフォーマンス、スケーラビリティ、コスト効率、柔軟性、および可用性に優れたNew remonシステムを開発した。

本稿では、New remonシステムの概要とMADOCA IIのremonシステムへの応用方法について述べる。

Abstract

Reмон¹ is an Energy-from-Waste (EfW) plant operation data collection system. The data it collects is used for critical monitoring and management services for refuse incinerator plants.

All of these tasks are performed remotely at a remote monitoring center in Hitachi Zosen's head office in Osaka. The center will be restructured as A.I/TEC in October 2018.

We made improvements to Remon to support big data and unstructured data, thereby expanding the range of applications including big data analytics and artificial intelligence.

We achieved high performance, scalability, cost-efficiency, flexibility and high availability by incorporating MADOCA II² developed by the Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI).

In this paper, we describe the new Remon system and how MADOCA II is used to improve it.

*1 Developed by Hitachi Zosen, Remon (Remote Monitoring) enables Hitachi Zosen's remote monitoring center to remotely monitor operations at waste incineration facilities, verify designs, confirm changes over time, provide operational advice, and offer technical support in the event of trouble.

*2 Developed by JASRI, MADOCA II (Message And Database Oriented Control Architecture II) is designed to control the accelerators and beam lines of SPring-8.

1. 緒言

当社では、ごみ焼却施設の「安定した長期連続運転」、「公害のない運転」、「技術管理の徹底」、および「新技術

の創出と迅速な投入」を目的に大阪南港本社ビル内の遠隔監視センター（写真1）で24時間365日運用体制を整え、各地のごみ焼却施設と通信回線で結び、遠隔による集中監視および技術サポートを行っている。

この遠隔監視には2002年に開発したremonシステム (Remote Monitoring System)が用いられている。

① 環境事業本部 開発センター

② 機械事業本部 電子制御ビジネスユニット制御機器部



写真1 遠隔監視センター

remonシステムはごみ焼却施設の技術検証用としてスタートし、当時は運転データの長期蓄積と、トレンド表示するデータ解析機能のみを有していた。その後、長期包括運営の増加と共に、24時間監視の運用に移行した。

ごみ焼却施設の運営は安定運転の長期継続、維持補修等の保全業務最適化が第一に求められる。これらをサポートする目的で、電子引継ぎシステム、維持補修・トラブル情報共有システム、警報・操作履歴遠隔管理システム、ITV画像蓄積配信システム、およびCoSMoS®(炉内画像状態認識システム)等、運営管理業務の電子化や本社での遠隔監視、運営サポートのためのツールの開発を進めてきた。図1にremonシステムの開発年表を示す。

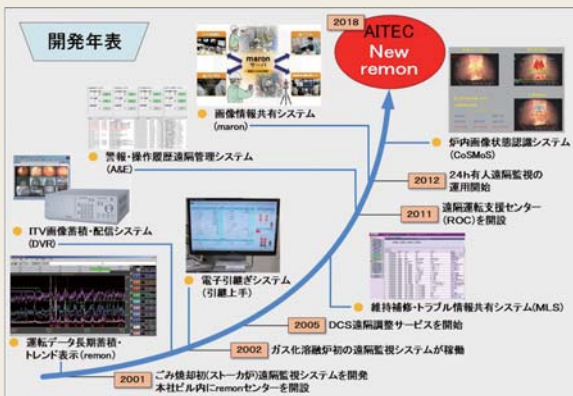


図1 remonシステム開発年表

当社は現在の遠隔監視センターをリニューアルするため、2018年10月に先端情報技術センター(A.I/TEC)をオープンした(図2)。



図2 先端情報技術センター(A.I/TEC)

ここにはIoT、ビッグデータ、AIの開発拠点としての他、遠隔監視と運転サポートを行うA.I/TEC監視センターを設置している(図3)。



図3 A.I/TEC監視センター

A.I/TECの運用開始にともない、remonシステムに対して、より高度な情報処理や運用能力が求められるようになることは必然の流れである。

ごみ焼却施設の遠隔監視は現在、遠隔管理へと軸足を移しつつある。これには、社会問題化している急激な少子高齢化による労働人口の減少や人材育成の課題が影響している。加えて、データ分析に基づく運転の最適化や異常予兆検知のように、遠隔で対応可能な業務が増えてきていることが理由に挙げられる。このため、先進技術を用いた運転の自動化や診断技術の必要性が高まっている。例えばAIによる運転高度化等により、遠隔監視センターからごみ焼却施設の運営業務の一部を直接実施する割合が増えてくることが考えられる。remonシステムは今後、導入が加速すると考えられる先進技術を支える役割を担うということも期待されている。

しかし、これらの要求はremonシステムにとって厳しい現状もある。サイト数や遠隔によるサポートメニューが増えるに伴って、運用開始当初のremonシステムでは想定していなかった高負荷な運用(24時間365日のノンストップ・マルチサイト同時運用、リアルタイム監視、他システムとの連携等)が要求されるようになり、現在の仕様では十分な運用ができなくなる恐れがあった。

さらに、定期的に必要となるremonシステムの更新の際にはデータベースを入れ替える必要があり、そのたびに収集を中断して蓄積したデータの移動が必要という課題があった。

これらの課題に抜本的な対策を講じるため、remonシステムの中核を見直し、アプリケーション間をシームレスにつなぐ共通基盤を構築すると共に、データベースそのものの刷新も含めたNew remonシステムを構築することとなった。

本稿では、New remonシステムの構築に至るまでの技術検討とシステム概要について述べる。

2. New remon システム構築に向けた検討

New remonシステムは、remonシステムの運用で得た

経験やノウハウを活かし、時代のニーズに適合するシステムを構築するため、下記4点に注力することにした。

- ① 利便性の向上
- ② セキュリティの向上
- ③ IoT・ビッグデータ・AIへの対応
- ④ 共通基盤化とクラウド対応

注力した4項目について、その内容を以降に述べる。

(1) 利便性の向上

従来のremonシステムは、カスタムできないデータベースシステムを中核に構成していたため、データ収集機能の拡張性に乏しく、また、マンマシンインタフェース機能の制限や限界により、利便性を追求できなかった。さらに、データのフォーマットには共通性がないため、データの種類に応じて技術を使い分ける必要があり、アプリケーション間のデータ連携や同期を難しくしていた。

これらを解決するためにはアプリケーションが共通の作法でデータアクセスが可能なネットワーク基盤が必要である。これを用いることで、アプリケーション間のデータのやり取りがシンプルになり、通信の高速化を図ることが可能になる。その結果、より多くの情報を効率的に流せるようになり、マルチサイト化や接続するデバイス（他システムを含む）の増加で高負荷、および複雑化するデータフローに対処できる。

取り扱える情報量の増加に伴い、複数の種類のデータを同時に扱えるマンマシンインタフェースが必要になる。蓄積したデータの解析や監視に使うツールは表示される情報量と操作性が使い勝手を左右する。遠隔サポートの範囲拡大により、計器データ等の数値だけでなく、ITVの記録画像（動画）や警報操作履歴等も同時に参照することが多くなっている。これらのマルチな情報をまとめて表示するだけでなく、各情報が同期して表示できる「総合解析ビューア」の開発が必要である。

(2) セキュリティの向上

データ保護、流出、乱用防止、および不正アクセスへの対策のため、セキュリティ性能の向上が重要である。

現在、多くの施設で遠隔監視が行われており、データにアクセスする関係者の数も増えている。このため、個人別にデータへのアクセスの権限を設定し、識別することができるようにする。また、一般的に遠隔監視系のデータは、インターネット区間でVPN（仮想専用ネットワーク）を使って暗号化されているが、サイト内やセンター内では情報が可視化できる状態になっている。これらのローカルエリア内であっても、最近の多様化、巧妙化したサイバー攻撃の動向を鑑みると安心できない状況になってきている。New remonシステムでは、ローカルエリア内でもID、パスワードその他の多要素認証と通信の暗号化等による電磁的方法によって、セキュリティを強化することにした。

(3) IoT・ビッグデータ・AIへの対応

先進技術の発展に伴い、遠隔監視だけでなく大量に蓄積された収集データの活用が課題となる。特にAIは、これまでは単なる記録としてのデータだったものでも、そ

こから新たな価値を生み出す可能性を持っている。従来の遠隔監視ベースでは、数値や画像、文字メッセージ等のデータを表示し、それを人間が見て判断できればほぼ目的を達成できたが、これから積極的にAIの活用を考えるのであれば、文字や画像のようなデータ構造が一定ではないデータをAIが読める形にする必要がある。この背景には、予め定義されたデータモデルを持たない非構造化データと呼ばれる情報の有用性がAIの発展と共に広く認知されるようになってきたことがある。

特に現代のAIは画像認識技術でブレークスルーしており、画像をデータとして利用できる仕組みがあれば、AIの得意領域を利用した技術開発も進めていくことができる。

非構造化データの特徴として、動画画像のような潜在的な情報の価値が高いものほど、データサイズが非常に大きくなる傾向がある。アプリケーションが非構造化データであっても、計器等の数値データと同様に取出して同列で扱えるようにするためには、全て同じデータベースに格納する技術が必要である。

このため、データベースにはサイズが大きいデータも短時間で処理できる高速性が必要とされる。すなわち、New remonシステムではデータの蓄積量だけでなく、データの品質を落さずに記録できる性能が求められる。

(4) 共通基盤化とクラウド対応

remonシステムの用途が多様化していくことで、データベースが扱うデータの種類や量が、今後どこまで増大していくのか未知数なところが多い。前述の非構造化データの取り込みもあって、データの増加ペースが予測困難となる中、使用中に容量不足に陥って停止することのないよう、データベース容量には余裕を持たせておくことが必要である。ただし、実際は時間の経過と共にデータのサイズが大きくなるため、サーバの必要容量はデータ収集開始時点が最も小さく、サーバの更新時点で最大になる。

従来は、システム導入時に最大使用量に合わせてサーバを選定していたため、初期の過剰なシステムリソースに伴うイニシャルコストが非常に大きくなる問題があった。これに対し、データ蓄積量の増加に合わせて柔軟にサーバを追加していくようにできれば機器構成のスムーズスタートが可能になり、初期の費用を最小限に抑えることが可能になる。このため、New remonシステムでは、蓄積データの増加状況に合わせてサーバの増強ができる仕組みを採用することにした。

これと関連して、クラウド環境での運用も可能とすることにした。これまでは、remonシステムはサイトと遠隔監視センターの2拠点で構成するオンプレミス運用であったが、今後はクラウド拠点も追加し、3拠点での運用を目指している。クラウドへの展開理由は、次の2点である。

第一に、インフラ調達のサイクルがデータの増大に伴い付かなくなってくる問題への対応である。クラウドは増え続けるデータに対して、サーバの追加が容易であり、迅速な拡張ができる。

第二に、災害に備えたバックアップおよびトラブルや

事故によるデータ喪失の防止といったBCP (Business Continuity Plan) としての役割である。

クラウド化にはデメリットもある。従来よりも1拠点増えることによりネットワークが複雑化し、通信障害リスクの増大やメンテナンスが複雑になることが想定される。3拠点になってもデータ収集の運用を止めずに安定した運用を行うためには、高いレベルでの可用性や拡張性、分断耐性が求められる。

New remonシステムでは、これらの機能強化を新たに構築する共通基盤をベースにして開発する。その基本構成イメージを図4に示す。

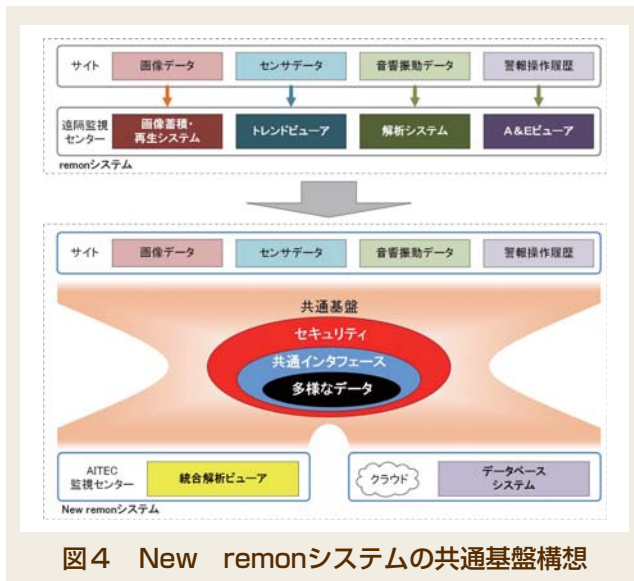


図4 New remonシステムの共通基盤構想

共通基盤上では、データは種類や形式に関わらず共通フォーマット化する。その上でセキュリティは、インターフェースの暗号化だけでなく、データと閲覧権限を紐付ける認証機構も組み合わせ、データを不正アクセスから保護する。

共通基盤上に遠隔監視センター、クラウドデータセンター、サイトを配置し、データの在り処に関係なく各アプリケーション横断のデータ連携、セキュリティコントロール、システム稼働状態の監視、異常の復旧やバージョンまたはグレードアップを一元的に行うことができる構成とする。

以上、New remonシステムに求められる主要な4つの要件について述べたが、これらは従来のremonシステムが使っていた技術では実現が不可能であり、ネットワークからデータベースに至るまで大規模な見直しが必要となる。次章ではNew remonシステムの心臓部であるデータベースの刷新について述べる。

3. データベースの刷新

前章で述べたNew remonシステムに求められる4つの要件を高い次元で達成するためには、データベースの総合性能が優れている必要がある。

現在、主流を占めているデータベースとしてRDBMS (Relational DataBase Management System) に分類

されるORACLE、MySQL、PostgreSQL等が広く普及している。RDBMSは運用実績が豊富でノウハウが蓄積されている強みがあり、取り扱うデータ構造が厳密に定義されている用途であれば高度な運用ができる。しかし、New remonシステムが扱うデータは形式やサイズの高自由度が高く、データも膨れ上がるように増加するため、RDBMSでは対応が難しい問題が生じる。RDBMSタイプのデータベースは蓄積データの増加に応じて運用を止めずに新たにサーバを随時追加していくことが構造上、困難である。

また、非構造化データのような行と列で定義されないデータの格納も不得手である。

サーバの大容量化にも不安が残る。RDBMSにおいては増加するデータやアクセスを捌くのに必要な高いパフォーマンスを維持するため、サーバのCPUやメモリ等の物理性能を向上させねばならない。このようなスケールアップでの対応は、サーバ増強に限界が生じやすい上に、ハードウェアのどこか1ヶ所でも故障した場合はデータベースの運用に支障が出る可能性がある。

これらの理由により、New remonシステムが求める可用性や拡張性、分断耐性をRDBMSに求めるのは難しく、最適ではなかったため別の方法を検討した。

そこで2010年頃から急速に発展しているNoSQL (Not Only SQL) タイプのデータベースに着目した。NoSQLデータベースはデータを複数のサーバに分散して配置することでパフォーマンスを向上させているのがRDBMSとの大きな違いである。サーバの増強は汎用なサーバを並列に増やしていくことでデータの処理能力を向上させることが可能である。これはNoSQLによる並列分散化によるメリットであり、拡張性、可用性、分断耐性については、New remonシステムが求める技術的要件をクリアできるものと考えた。

次の課題は、ごみ焼却施設における様々なデータを如何にシンプルな形でNoSQLデータベースに入出力できるようにするかということ、そしてデータ収集の高速化、信頼性の確保、長期安定稼働の実証であった。これらは短期間のうちに実施、確認できる性質のものではないため、既に稼働しているシステムとして兵庫県佐用郡にある、世界最大級の大型放射光施設SPring-8 (写真2)



提供者：国立研究開発法人理化学研究所

写真2 SPing-8 施設全景

の制御および実験データ収集用に開発された制御フレームワークMADDOCA (Message And Database Oriented Control Architecture)の技術導入を検討することにした。

MADDOCAとは、(公財)高輝度光科学研究センター(以降JASRIと呼ぶ)が1994年から開発を行っている加速器とビームライン制御に使用するフレームワークで、現在はSPring-8等放射光関連システムの一部となって本運用されている。ここでのフレームワークとは、システム開発において、標準化や開発の効率化を目的としたアプリケーションに使われる、クラスやライブラリの集まりのことを意味する。

MADDOCAには以下の機能がある。

- ①遠隔にある制御対象にメッセージを送って制御、
ならびに状態を取得する (Message)
- ②ログデータを含む、加速器状態に関する情報をデータベースに集約する (Database)
- ③メッセージ交換による制御フレームワーク
 - メッセージを配送するミドルウェア
 - 制御アプリケーションを作成するためのライブラリ群 (Oriented Control Architecture)

MADDOCAは当初、蓄積リングの制御のために構築されたが、その後SPring-8の全加速器(入射用シンクロトロン、線形加速器)とビームラインに拡大され、さらに同じく放射光施設であるNewSubaruや、X線自由電子レーザー(XFEL)施設のSACLAも制御することになった。この結果、制御対象機器は1997年時点で3,000点程度だったものが、2017年には40,000点を越えた(SACLAを除く)。

加速器は寿命が長く、不断に改良がなされていくため、データ収集環境の変化や制御装置の入れ替わりが激しい。このため、MADDOCAでは加速器のセンサや制御システムに対して、共通化されたメッセージ交換手法を用いて末端の機器が変更、あるいは追加されても上位のシステムはほとんど影響を受けない仕組みになっている。実際には下位に位置するコンピュータが末端に位置する機器の違いを吸収しており、これをJASRIでは機器の抽象化と呼んでいる。これにより、種類の異なるデータを統一的に扱うことが可能になったことが、長年の加速器の進歩と共に、MADDOCAが追従できた大きな理由となっている。

2015年から本格導入されたMADDOCA IIは、MADDOCAの設計方針を残しつつ、より簡単な機器の登録と削除や、可変長データへの対応等、柔軟なデータ収集を実現するために大きく改良されたものとなっている。

これらの多くは従来のRDBMSタイプのデータベースでは実現が難しく、NoSQLの採用によって初めて実現できたとされる。

以上に述べたような経緯を有するMADDOCAおよびMADDOCA IIにおいて、メッセージ交換と抽象化の概念は、New remonシステムが目指す多種多様なデータを統一的なインタフェースにまとめる基盤構築に即している。また、MADDOCA IIで実現した可変長データへの対応は、

管理が難しいとされる非構造化データについてもデータベース管理を可能にする技術として有用である。

MADDOCA IIはSPring-8の実験で強力な放射光の照射により観測される、極めて短時間内に発生する大量のデータを漏れなく記録するため、1Hz、4,700点のデータを収集できる能力がある。MADDOCA IIが収集したデータはSPring-8の中央制御室(写真3)でも表示され、即時に実験結果を確認することができる。



写真3 SPring-8 中央制御室

MADDOCA IIのデータベース基幹部は、12台のエントリークラスのサーバで構成されており、1秒間に換算すると1,000,000点以上のデータ収集が可能である。これは従来の1台の高性能サーバでデータ収集する方式と比べて100倍の性能に相当する。

MADDOCA IIシステムの外観を写真4に示す。



写真4 MADDOCA IIシステム外観

現在、SPring-8は年間約5,000時間に及ぶ運転が行われているが、これまでMADDOCA IIを原因とした運転停止はなく、信頼性や安定性の高さも証明されている。

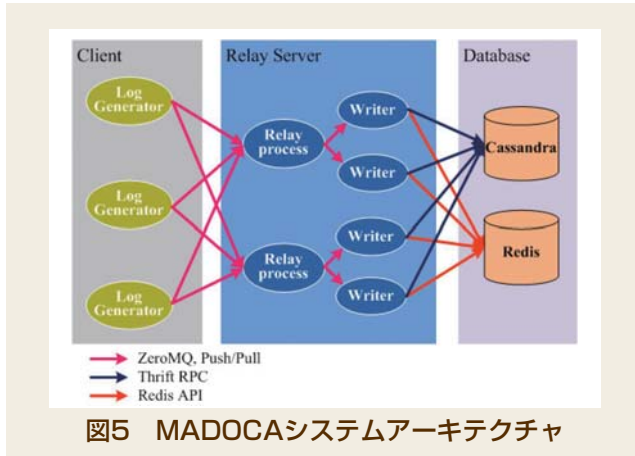
以上のとおり、MADDOCAおよびMADDOCA IIの開発経緯や仕様を確認した結果、New remonシステム開発で重要な要素技術のほとんどを内包しているということから、2015年にMADDOCA IIをNew remonシステムに応用するため、JASRIと共同研究開発の契約を結んだ。

New remonシステムの開発には極力、MADDOCA IIの技術を活用する一方、プラント制御システムや利用者とのインタフェース、マルチサイトの遠隔監視や他社システムとの接続に必要な技術は、当社の経験とノウハウに基づく

独自の工夫を取り入れ、ごみ焼却施設に適應する拡張性と柔軟性に富んだシステムを目指した。

本章では、New remonシステムが主に利用したMADOCA IIのデータベースの概要に続き、それをごみ焼却施設のデータ収集向けに最適化するため、カスタマイズしたポイントについて説明する。

3.1 MADOCA IIのデータベース MADOCA IIのデータ収集体系は、図5に示す3層標準モデルに従っており、制御対象機器側に置かれた組み込みコンピュータとネット接続されたサーバ群によって構成されている。



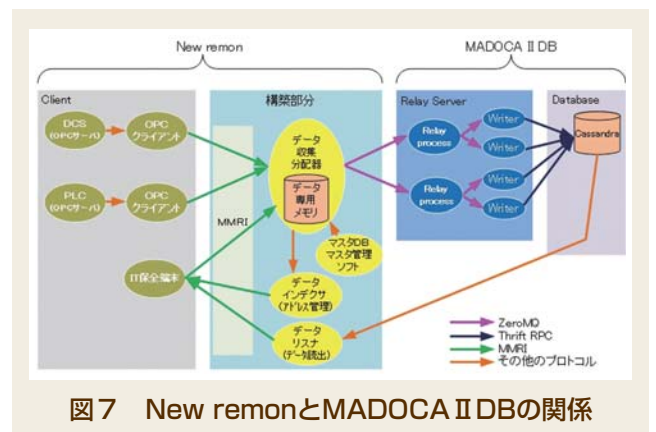
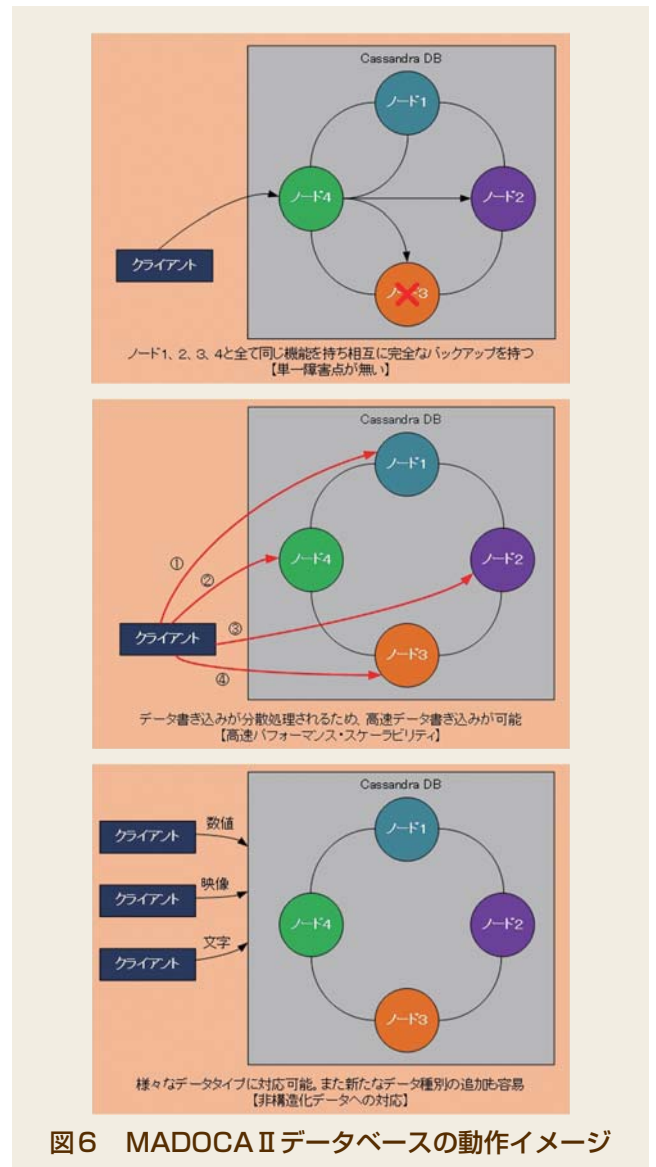
メインのデータベースにはNoSQLのCassandraを採用している。Cassandraは1台のサーバで動作するものではなく、複数のサーバ（以降ノードと呼ぶ）で構成される分散型のデータベースである。データはレコード単位で管理されるが、データアクセスはデータに紐づくキーと呼ばれるもので、カラム単位に管理する。カラムに対して膨大なデータを追加していくことが可能で、非常に高速な書き込み性能を持つ。ただし、複数のノードに分散してデータが格納されるため、記録の初期段階においては、それぞれに格納された値が矛盾する場合があります、一貫性が保証されない。MADOCA IIではこの対策として、メモリ上で動作するRedisをキャッシュサーバとして最新値を読み込む際に利用し、この問題を回避している。

Cassandraはマスターノードを必要としないため、単一障害点が存在せず、システムのどこかで問題が発生してもデータベースの機能を維持できる。

MADOCA IIのインタフェースにおける非構造化データへの対応には、データ構造が不定であっても実質、同質化したフォーマットに変換する非同期通信プロトコルZeroMQとMessagePackを使って実現している。

MADOCA IIデータベースの動作イメージを図6に示す。

3.2 New remonシステムへの応用 ごみ焼却施設の制御システムにはDCS (Distributed Control System) が使用されるため、制御部は必要としないことからMADOCA IIのデータベースのみを使用することにした。New remonシステムの中では、この部分をMADOCA IIBシステムと呼んでいる。図7にNew remonシステムとMADOCA IIBシステムの関係を示す。



ごみ焼却の遠隔監視やデータ解析においては、主に時系列データを参照することが多い。それも10年以上前の過去データから、直近となるリアルタイムでの表示まで、広範囲にデータの検索や更新が要求されることになる。

MADOCA IIBシステムの役割は高速に大量にデータを収集することで、主にデータ解析での利用と位置づける一方、遠隔監視でニーズの強いリアルタイムデータの処理対策として、現在値用のデータ専用メモリ (MADOCA

IIのRedisサーバに相当する)を別に設ける構成とした。データ専用メモリは高速な読み書きの動作が可能でNew remonシステム以外のシステムとも共有される。これにより、データ収集と同時に制御にも使われるデータを競合することなく使用することが可能になった。また、前述のデータの一貫性が保証されない問題についても、直近のデータはこのデータ専用メモリから取り出すことにより回避できる。

Cassandraのデータベース構造は、**図8**のようになっており、MADCOCA IIでは左側のColumnFamilyを利用している。

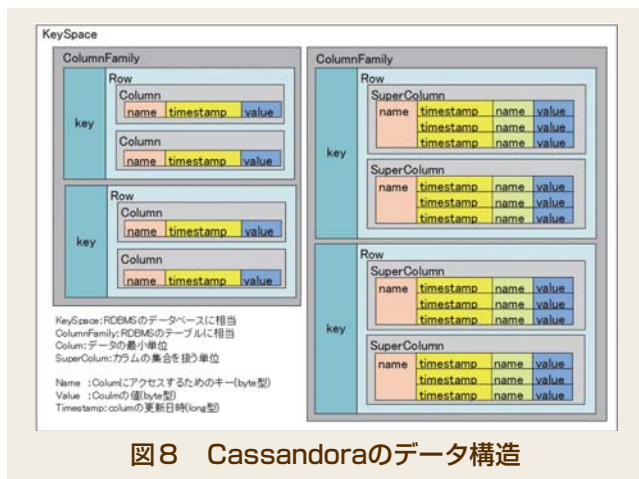


図8 Cassandraのデータ構造

図8の構成において、キーでまとめられるカラムと呼ばれる最小のデータ構造がある。最小のデータ構造としてカラム名、値、時刻を記録することができるが、検索可能なデータ単位はキーもしくはカラム名となる。

MADCOCA IIでは、**図9**の上段のようにして、1日分のデータを1つのキーにまとめ、検索可能なKey labelに信号名と日付の両方を格納している。1日分のデータを1つのキーにまとめるのは、データをCassandraのサーバ群に平等に分配(蓄積)するためである。

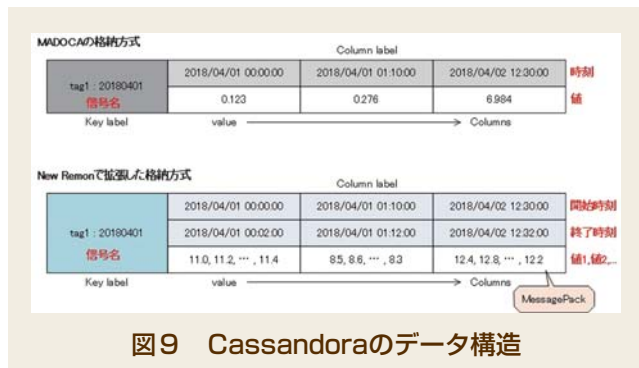


図9 Cassandraのデータ構造

New remonシステムでは、任意の区間データを得るにあたって終了時刻も検索キーに含める必要があった。そこでMADCOCA IIでは使用していない**図8**の右側に構成されているSuperColumnも使用して、**図9**の下段のようにカラム名に「信号名+開始時刻+終了時刻」の3つのフィールド情報を含めて格納する形式とした。実際には、以下の配列イメージとなる。

信号名、開始時刻、終了時刻、値1,値2,...,値n

4. New remon 実装システム

4.1 MMRI (Maron Media Routing Interface)

ごみ焼却施設のデータ収集は、DCSやPLC (Programmable Logic Controller) 等の外部システムからデータを得ることになる。これらはシステム特有のデータ出力形式を持っているため、New remon システム側でそれらの仕様に合わせたインターフェースを実装している。

これらの制御システムやその他のデバイス、MADCOCA IIDBシステム等との通信に用いる、共通のプロトコルインターフェースをMMRI (Maron Media Routing Interface) と称し、データの種類に関係なく、セキュアな通信を行う仕組みを構築した。MMRIは、後述のデータインデクサやデータ収集分配器等と連携し、データを暗号化した上で要求元へ送り届ける。MMRIはリモートサイトからでも運用を可能とするために、HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) のストリーミング技術を採用し、データを安全かつリアルタイムに送ることができる。本インターフェースの概念を**図10**に示す。

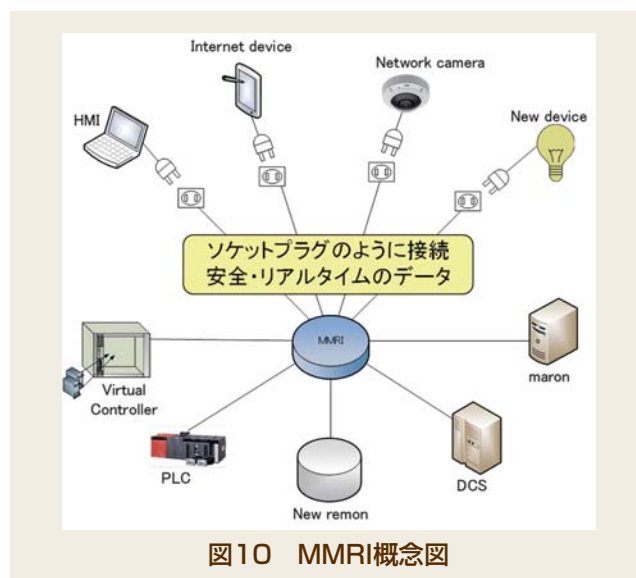


図10 MMRI概念図

MMRIには、機器がNew remonネットワークへの参加を容易にするソケットプラグ的な機能を実装しており、以下の特長がある。

- ① アプリケーションが通信相手の所在情報を自己で所有していなくても良い
- ② アプリケーションが意識しなくとも通信の冗長化が機能する
- ③ アプリケーションインターフェース (API) で異なるプログラム言語環境でも入出力を構築できる
- ④ 全サイト統一したアドレス規則
- ⑤ HTTPSを使ったセキュアな通信である

上記のうち、①と②は後述のデータインデクサとの連携により実現している。

MMRIでは、サーバもクライアントも接続された時点でMMRIの管理シーケンスによって認識される。例えば、サーバがMMRIに接続するとMMRIに接続されている各クライアントでサーバの所在と死活状態が共有化され、

それらのクライアントは直ぐにサーバが提供するサービスにアクセスできるようになる。図11にMMRIへの参加フローを示す。

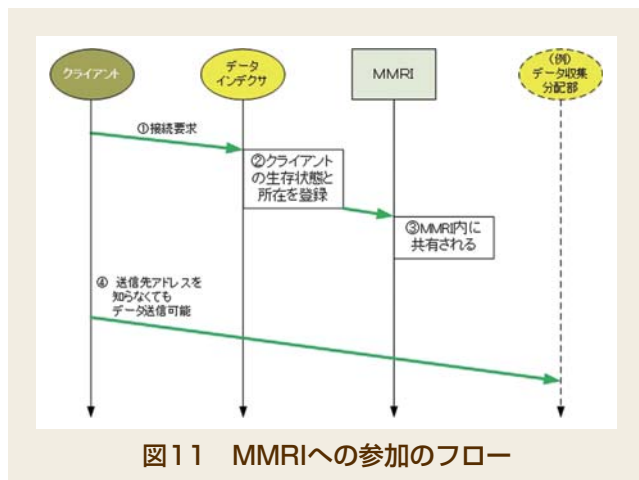


図11 MMRIへの参加のフロー

サーバもクライアントもMMRIに参加する手順は基本的に同じであるが、ここでは、クライアントがMMRIに参加するときの手順を以下に説明する。

- ① MMRIからデータインデクサに接続要求を発行する
※以降、ライフチェックが定周期で実行される
- ② データインデクサはクライアントをデータインデクサ内に存在する住所録に登録する
- ③ データインデクサ内のライフ情報付き住所録は、MMRI内に参加している機器で共有される
- ④ クライアントが値の入出力をするときは、宛先はMMRIが決めるため、アプリケーションがサーバの住所や死活状態を把握する必要がない

MMRIはクライアントからの要求がある度に情報を送信する、プル方式でのデータ送信の他、ストリーミングによるデータ送信も可能にしている。MMRIの仕様に従い、ストリーミングデータに対しても時系列なデータに関する属性情報が付加される仕組みが実装されているため、データの解析や制御への応用が容易にできるものとなっている。

4.2 データインデクサ MMRIを利用する全てのクライアントは自分の住所とデータインデクサの住所を把握している。初めてMMRIに参加するクライアントは、自分の住所をデータインデクサに通知することから始まる。データインデクサは、通知のあったクライアントから以降、定期的にライフ情報（自分が生きているという情報）を受け取ることになる。この情報はMMRI内のサーバ・クライアントで共有される。タイムアウトを経過して、ライフ情報が送られて来ないクライアントについては、何らかの事情があったものとして、住所録から削除される。

図12に登録と削除を行う際のフローを示す。

データインデクサが全てのデータ種類とその所在を管理しているため、クライアントは要求するデータの内容によってデータ収集分配器にアクセスするべきか、それともMADDOCA II DBシステムにアクセスすべきなのかが分かるようになっていく。

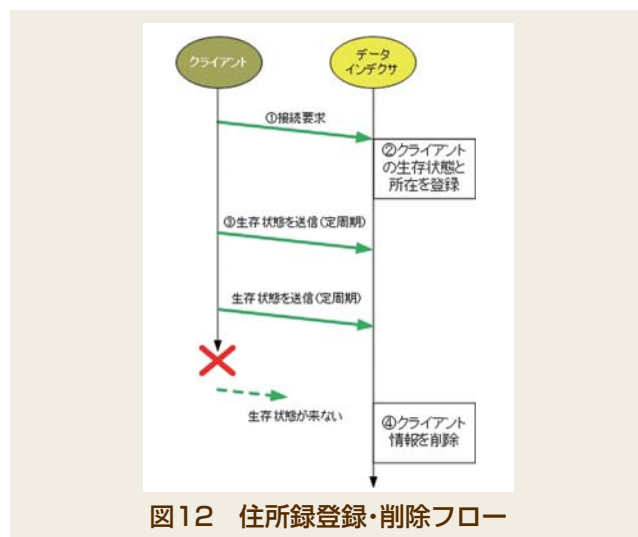


図12 住所録登録・削除フロー

4.3 データ収集分配器 データ収集分配器は前述のデータ専用メモリを内挿し、リアルタイムデータを主に収集している。DCSやPLCに対してデータサンプリングタスクの実行、取得したデータの圧縮およびパッキングを行ってMADDOCA II DBシステムへデータを書き込む。クライアントからのリアルタイムなデータ要求に対しては、データ専用メモリ内のデータをクライアントに送出する。

図13にデータ収集分配器によるデータ収集フローを示す。

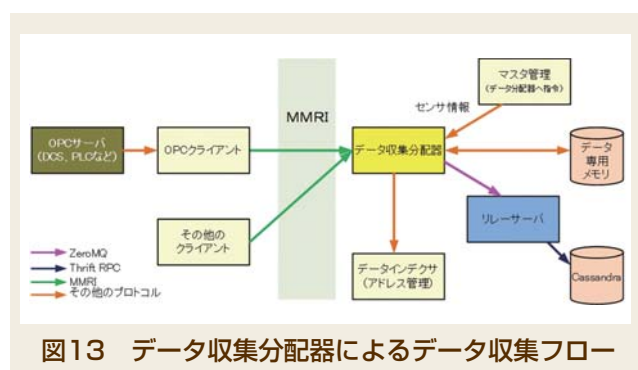


図13 データ収集分配器によるデータ収集フロー

4.4 データリスナ MADDOCA II DBシステムとMMRIとの仲介をするミドルウェアがデータリスナである。クライアントから期間を指定されたデータの要求があった場合、データリスナがMADDOCA II DBシステムからデータの取り出しを行い、要求元のクライアントにデータを返す。

4.5 システムモニタ(死活監視) New remonシステムは接続されている機器の死活監視を行うためのシステムモニタが実装されている。この仕組みは前述のデータインデクサの機能を利用している。

MMRIに参加する機器は、最初にデータインデクサに自分の住所を通知するが、以降、定周期で自身の生存を表すライフチェックカウンタをデータインデクサに送信する仕組みを持っている。このようにしてデータインデクサからMMRIに参加する機器の死活状態を取得し、システムモニタが一括して監視している。

図14に死活監視の概要を示す。

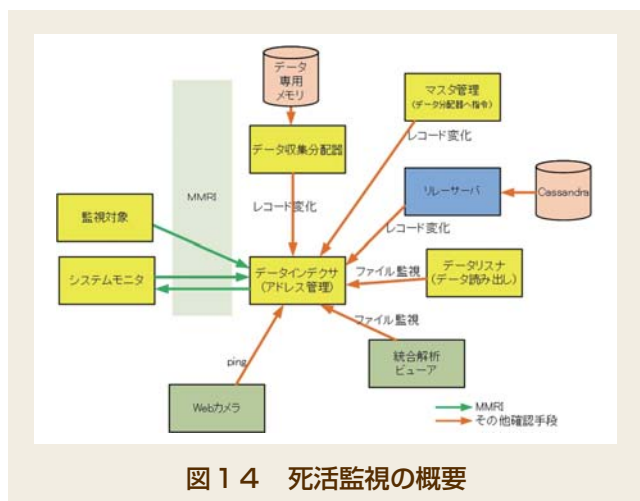


図14 死活監視の概要

機器によっては仕様上、ライフチェックカウンタの実装ができないものもあるが、これらについても最低限の状態監視ができるよう、死活監視チェック&通知プログラムを構築した。このプログラムはpingやファイル監視、データベースに記録される任意のタグのデータ変化から死活状況を判断し、機器=Tag(センサ名)と見立てて、異常の疑いがあればシステムモニタへ通知する。

5. New remon システム導入検証

5.1 拡張によるスケールアウトの検証 New remonシステムのデータベースは、サイトの追加、収集データ点数の増加があっても、既存のノードのCPUやHDD等のハードウェア更新を伴わずに、ノードを追加するだけで性能を向上させることが可能である。実際に最小構成となるノード3台から1台追加して、4台にしたときに、データの取り込み性能が向上することを検証した。表1は検証に用いたリレーサーバおよびノード(Cassandraサーバ)のスペックである。

表1 リレーサーバ&ノードのスペック

Item	Type
CPU	Intel Xeon E3-1241v3 4C/8T
MEMORY	4G Byte
HDD	500G Byte RAID なし
OS	Cent OS 6.3

書き込みテストプログラムから信号名や日時、測定値等から成る1データあたり44バイトのデータをリレーサーバ経由でデータを書き込んだ際にエラーが発生する限界点数を計測した。その構成図と結果を表2および図15に示す。

表2 ノード数別限界書き込み点数

Node Cluster	Limit of Write Workload
3台	27,000点 / 秒
4台	30,000点 / 秒

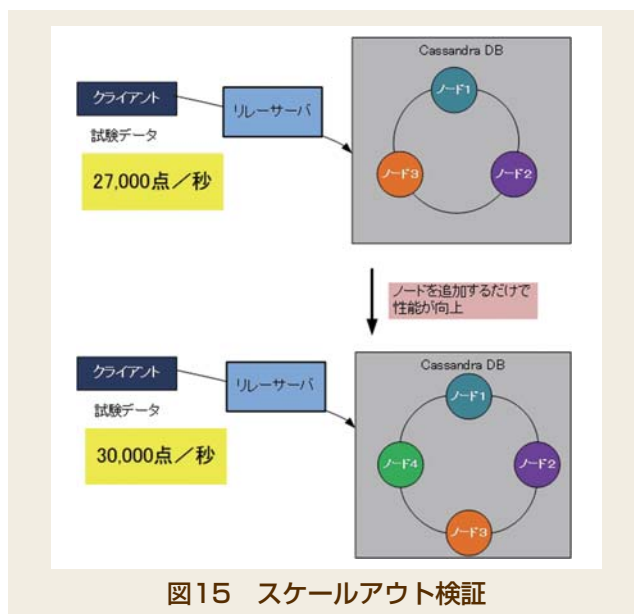


図15 スケールアウト検証

この検証結果により、ノードを増やしたときにスケールアウトして記録可能点数が増えることを確認できた。この後、耐障害テストやデータ整合性の確認を経て、サイトに設置できるラックマウント型サーバで構成したNew remonサイトシステム(写真5)を完成させた。



写真5 New remonサイトシステム

サイトシステムは既設ごみ焼却施設で長期連続稼働による検証を行っている。実際の計器信号や制御出力を使って1,000点/秒のデータ収集を3台のノード構成で120日間連続稼働させたときの使用率を表3に示す。

表3 120日稼働時点における1ノードあたりの使用率

HDD (Used/Free)	91G Byte / 781G Byte
Load Average	0.03 以下

この結果から収集能力にはまだ十分な余力があり、秒単位でDCSのほとんどのデータを収集することが可能になった。なお、現在もこのサイトシステムは順調に稼働を続けている。

この後に、最新の施設に導入した事例では、DCSからアナログデータを約2,000点/秒、デジタルデータ約7,000

点を収集しているが、レイテンシの悪化等による障害は発生していない。

5.2 クラウド環境でのデータ収集検証 前述の検証に続き、New remonサイトシステムを2ヶ所の既設ごみ焼却施設に、また、本社にはマルチサイトに対応するセンターシステムを設置し、それぞれをVPNで接続して複数の施設からデータを同時収集できる構成とした。さらに、東京を所在地とするクラウドデータセンターにも本社と同規模のセンターシステムを構築して、クラウド上でもデータを蓄積する実験を行った。図16にこれらのネットワーク構成を示す。

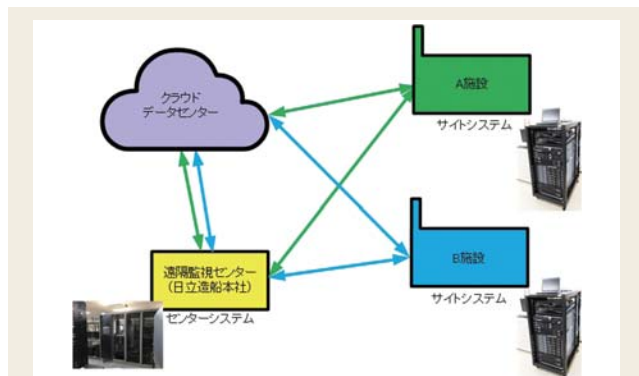


図16 クラウド・マルチサイト共有ネットワーク

このような3拠点での同時データ収集において毎秒周期のデータが各拠点で収集できることを確認した。その後、引き続き本社、およびクラウドデータセンターにて約半年間、データ収集と蓄積を行った。この連続運用において、通信の遅延等による一時的な不整合も正確にリカバーされ、致命的なデータの欠損もなく、順調に稼働することが確認された。

6. 総合解析ビューア

New remonシステムの開発と並行し、収集したデータを一元的に表示することができる総合解析ビューアの構築を行った。従来は市販のソフトウェアやデータの種類別に開発したアプリケーションを利用していたため、トレンドグラフ、ITV画像、警報操作履歴等は、それぞれ専用のアプリケーションを起動して表示させていたが、総合解析ビューアによって種類の異なるデータを同時に表示確認することが可能となった。

図17に総合解析ビューアの画面構成を示す。



図17 総合解析ビューア

プロセスデータは、1秒更新のリアルタイム表示が可能で、本社の遠隔監視センターでは現場さながらの情報表示パネルでプロセスデータや、ITV映像をモニタリングでき、排ガス値等の変化が激しいデータの監視にも対応できる。

7. 結 言

本稿ではremonシステムをリニューアルしたNew remonシステムの技術概要について述べた。JASRIのサポートのもと、MADDOCA IIをモデルとするスケールアウト型データベースを実装することで、あらゆる種類のデータがアプリケーションの垣根を越えて取得・解析できるようになり、ノンストップが求められるマルチサイト運用にも十分対応できるシステムへと変貌を遂げることができた。また、ごみ焼却施設と遠隔監視センター、およびクラウドデータセンターの3ヶ所にまたがるデータ共有技術を確認した。これにより拡張性に優れ、災害にも強い遠隔監視システムの構築と安定した運用が実現できる。

最近、AIの学習に代表されるように、蓄積された運転データを元にした新たな技術開発が増えているが、ごみ焼却炉の状態は経時変化するため、データの更新をしながら制御とメンテナンスができるシステムが、新技術の運用には欠かせない。New remonシステムはこのような新技術の永続化にも資するものになる。

New remonシステムは高速なデータ蓄積性能と柔軟な拡張性を兼ね備えているため、全拠点を一括して管理するような大規模データベースでその真価を発揮する。

今後はクラウド化を含め、New remonシステムが蓄積したビッグデータを活かしたソリューションやデータ応用技術の研究開発を進めていく所存である。

【謝辞】

本稿の記載ならびにNew remon システムの開発にあたり、多大なご協力を頂きました(公財)高輝度光科学研究センターの山下明弘先生をはじめ、制御・情報グループの方々にこの場を借りて感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 松本崇博、古川行人、石井美保 “Spring-8における新しい制御フレームワークMADDOCA IIの開発” (2013/8/3 日本加速器学会)。
- 2) 山下明弘、籠正裕、酒井久伸 “MADDOCA II データ収集と蓄積システム”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Japan, p. 235-238 (2013)。
- 3) M.Kago, A.Yamashita, “Development Of A Scalable And Flexible Data Logging System Using NoSQL Databases”, Proceedings of ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA p. 532-535 (2014)。
- 4) T. Matsumoto et al.: “Next-Generation MADDOCA

The SPring-8 Control Framework”, Proceedings of ICALEPCS2013, San Francisco, California, USA, (2013) 944.

- 5) Tilmann Rabl, Mohammad Sadoghi, Hans-Arno Jacobsen, Sergio Gómez-Villamor, Victor Muntés-Mulero, Serge Mankovskii: “Solving Big Data Challenges for Enterprise Application Performance Management “.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船株式会社 環境事業本部
開発センター
川端 馨

Tel : 06-6569-0196 Fax : 06-6569-0197
e-mail : Kawabata_k@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Environment Business Headquarters
Business & Product Development Division
Kaoru Kawabata
Tel : +81-6-6569-0196 Fax : +81-6-6569-0197
e-mail : kawabata_k@hitachizosen.co.jp



川 端 馨



水 谷 光 浩



宮 元 耕 治



伊 崎 嘉 洋



植 田 倉 六