

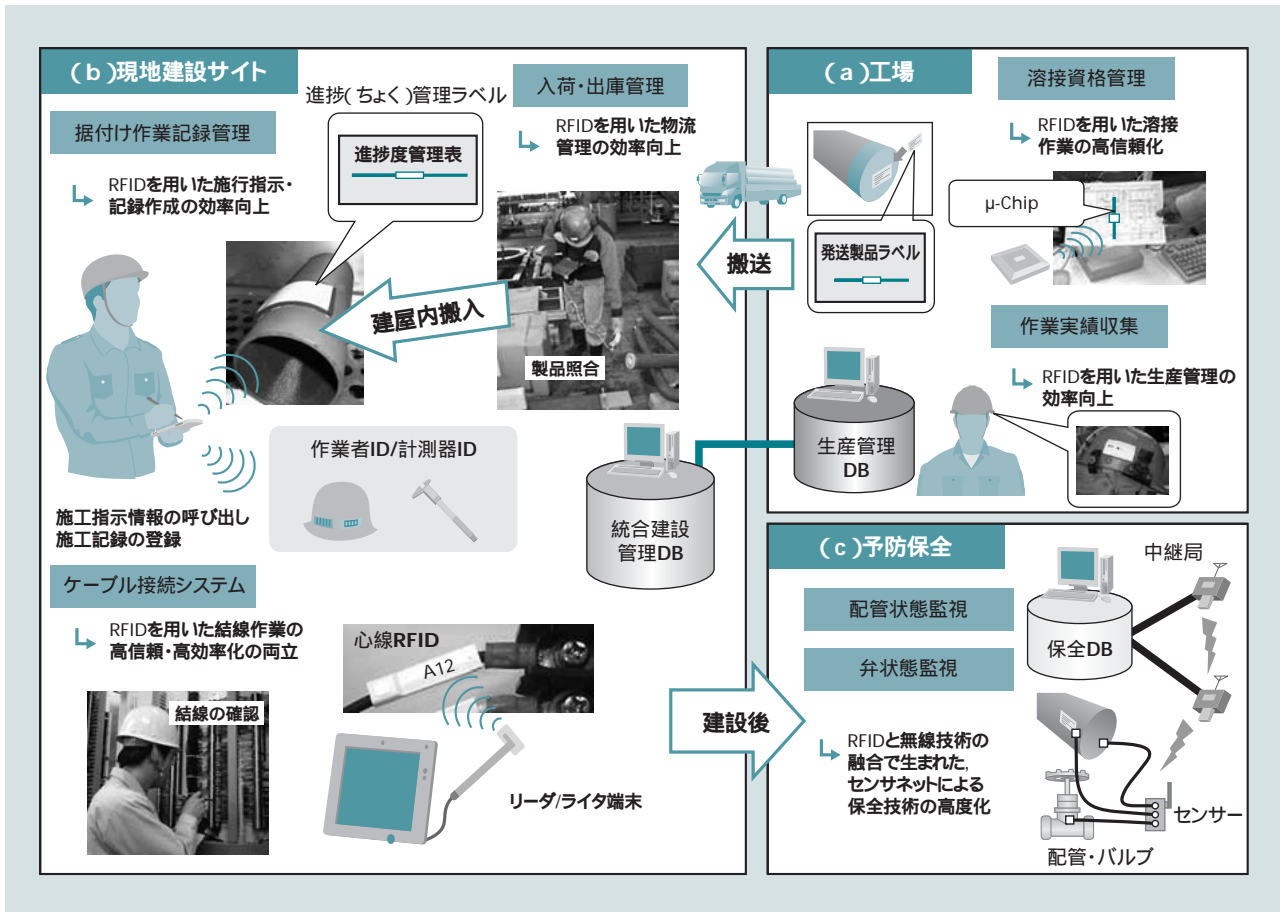
原子力プラントへのRFID高度応用システムの開発 生産管理技術，建設技術，保全技術への展開

Development of Advanced RFID Application System for Nuclear Power Plant

恩田 公治 Kimiharu Onda
室 啓朗 Keiro Muro

若林 英祐 Eisuke Wakabayashi
重見 良介 Ryosuke Shigemi

新井 良太 Ryota Arai
湯田 晋也 Shinya Yuda



注:略語説明 RFID(Radio-frequency Identification),DB(Database),ID(Identification)

図1 原子力発電プラントにおける生産管理技術，建設技術や保全技術への実展開

(a)配管製造工場における溶接資格管理への実適用，(b)建設サイトにおける製品資材管理および据付け作業支援やケーブル結線における実適用，(c)原子力保全における状態監視適用例の概要を示す。

近年，原子力発電プラントの生産管理や建設，保全では施工記録や作業履歴といった情報のトレーサビリティがますます厳密に求められている。一方，量産系の産業では電波により，製品や人を特定できるRFID技術がコピキタス情報社会を支える基盤技術として，その機能性と汎用性を高めてきている。

このような背景の中，日立グループは原子力発電プラントの品質と信頼性を向上させるため，配管製造の生産管理や原子力発電プラントの建設管理，保全にRFIDを応用したシステムを開発してきており，その導入効果を上げつつある。

1.はじめに

原子力発電プラントは百万点以上もの多品種大量の部品で構成されており，その建設や保全においては，製品情報や施工記録，使用治工具などの情報トレーサビリティが厳密に求められている。

従来，その記録の照合や入力作業は主に目視照合や手入力といった人手によるものであった。そのため転記ミスなどのヒューマンエラーを避けるうえでのダブルチェックなどが必要となっていた。

一方，自動認識技術の一つとしてその機能性と汎用性，

さらに耐環境性の高さから産業界で急速に普及してきているRFID(Radio-frequency Identification)技術に着目した。RFID技術は電波を利用してID(Identification)を認識するため、直接見えなくてもIDを認識可能である。また、同じ自動認識技術のバーコードと比較して汚れや摩擦に強い汎用性が高いという特徴がある。

こうした背景の下、日立グループは、原子力プラントの建設や保全にRFIDを応用した技術開発を推進してきた。

ここでは、日立グループの生産管理や建設管理、保全へRFID技術を応用したシステムについて述べる(図1参照)。

2. 配管生産管理技術への応用

工場における配管生産ラインの作業実績収集管理、溶接作業記録管理および製品出荷管理について、RFID技術応用システムの実適用を開始した。

2.1 作業実績収集管理への応用

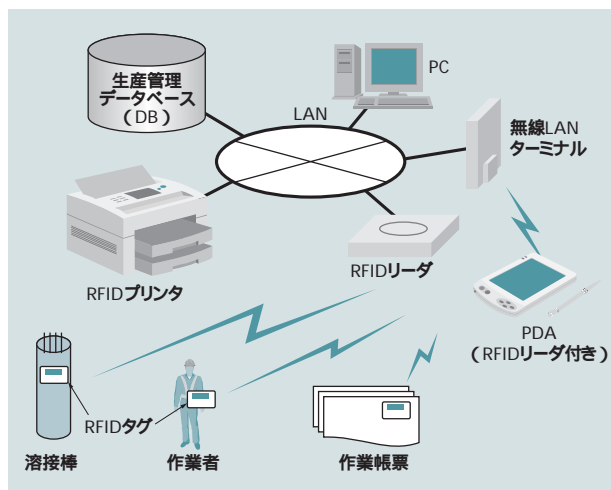
数万点にも及ぶ原子力プラントの配管製品形状は一品一様であり、製造工程におけるトラブルは現地建設工程の遅延を招くおそれがあることから、一品ごとの納期管理が必要となってくる。また配管製造工程は材料投入後、切断、曲げ、溶接などの多数の工程を経るため、それに付随して膨大な量の製造記録の管理が必要である。

従来、日々の生産計画は自社で開発した生産管理システムで計画し、各工程の実績をシステムへ手作業で入力していたため、リアルタイムの管理は困難であった。そこで、作業実績の収集方法と記録管理を改善するためにRFIDを用いたシステムを開発した。その特徴は以下のとおりである。

配管製造過程においては、製品ごとに発行される作業帳票にICタグを内蔵させた運用としている。その結果、ICタグ付き作業帳票を各工程に設置したRFIDリーダーで作業着手および完了時に読み込ませることで、各工程での着手・完了日時などを生産管理DB(Database)に取り込むことができる。さらにこのシステムは従来の生産管理システムと連携しており、各製品のリアルタイムでの進捗(ちよく)遅延状況を確認できる。また、着手と完了処理のタイミングを規定化することにより、リードタイムや各工程の能力分析などを体系的に評価でき、現場改善や生産効率向上などにつながる事が可能となった(図2参照)。

2.2 溶接作業記録管理への応用

プラントの安全および品質管理上、配管溶接部の健全性確保は重要であることから、適切な資格を有した溶接士によって適切な溶接を実施するための厳格な資格管理が求められている。さらに、他の作業に比べて詳細な作業記録を取



注:略語説明 LAN(Local Area Network), PDA(Personal Digital Assistant)

図2 配管工場におけるRFIDシステムの構成

RFID応用システムは管理対象となる溶接棒、作業員、作業帳票に貼付(ちょうふ)されたRFIDタグ、RFIDタグを認識するリーダー、データを登録するPDA、無線LANおよびデータを管理するDBから成る。

ることも必要であるため、資格管理や記録管理のために多大な労力を要していた。

そこで、溶接作業においても作業帳票にRFIDを適用するとともに、溶接士名札や溶接棒などにもRFIDを適用した。溶接実施前に溶接士がICタグリーダー付きPDA(Personal Digital Assistant: 携帯情報端末)により上記ICタグを読み取ることで、資格管理に必要な情報はPDAで資格管理DBの登録情報と照合される。これにより、当該溶接部を溶接できる資格を有しているか、指示どおりの溶接条件となっているかなどを自動的に判定するため、不適切な溶接作業を未然に防止することが可能となった。また、作業後には溶接電流などの記録を電子データとして登録できるため、記録確認や整理の作業効率も大幅に改善された(図3参照)。

2.3 出荷管理への応用

前述したように、配管やその部品の誤送、出荷遅れは現地建設工程の遅延を招くため、製品出荷管理は非常に重要である。従来、工場出荷時には、紙の送付状と製品を目視により照合していたため、製品の照合やヒューマンエラーの防止に多大な作業を要していた。

今回開発したシステムでは、出荷前に配管製品に取り付けられたICタグをPDAで読み込むだけで、生産管理システムで計画された出荷予定情報と自動的に照合できる。さらに生産管理DBと連動して送付状を自動作成することができるため、出荷作業全体の労力低減に貢献できた。また、システムに登録された出荷情報は荷受け側となる建設現場へ即日転送されるため、工場と現地を通した着実な製品納期管理が可能となった。



図3 配管製造工場でのRFID適用作業風景と入力画面の例
RFIDを配管の作業実績収集や溶接管理，出荷管理に適用している。

3. 現地建設管理技術への応用

現地建設サイトにおける製品入荷・出庫管理，据付け作業記録管理への支援やケーブル接続作業についても，RFIDを応用したシステムの実適用を開始した。

3.1 製品入荷・出庫管理への応用

従来，現地の配管などの製品入荷においては，入荷した製品と発送元から提示された製品の送付状を目視により照合し，事務所に戻ってから膨大な記録を製品管理システムへ手入力していた。このため，現地においても照合ミスや転記ミスなどといったヒューマンエラーの防止に多大な労力を要していた。そこで現地の製品入荷・出庫管理においてもRFIDを応用したシステムを開発した。その特徴は以下のとおりである。

このシステムでは，工場からシステムを介して転送された製品出荷情報と，製品に取り付けられたICタグを照合する。その結果は自動的に建設管理システムに登録され，入荷実績としてシステム上で管理される。また，保管場所や製品を保管した作業者名もICタグにより入力可能となっているため，現地における製品入荷・出庫管理の精度を高めている。このようにRFIDを用いた照合作業や入力作業の簡素化により，管理者および作業者の労力を低減することが可能となった。さら

に現地においては，入荷した製品を一度倉庫で保管し，現地据付け工程に合わせて出庫する場合も多く，その管理においてもこのシステムを適用し，作業者の負担軽減を図っている。

製品へ取り付けるICタグの選定にあたっては，現場での実環境を考慮したモックアップを実施し，粉塵(じん)や雨滴，摩擦や熱などに耐久性のあるものを選定している。

3.2 据付け作業記録管理への応用

原子力プラントの建設現場では，配管の据付けを例にとると，4万点にもわたる溶接箇所を識別する必要があり，またその作業は，各溶接箇所に対し発行される作業指示書に基づいて作業が実施される。この据付け作業記録をシステムへ手入力していたため，ヒューマンエラー防止に多大な労力を要していた。そこで，記録の信頼性を向上し，作業者の負担を軽減させるために，RFIDを応用したシステムを開発した。その特徴は以下の通りである。

現地据付け作業記録支援システムで，ICタグ情報と作業指示情報を関連付ける。そのため，現場でICタグを読み取ることでPDA上に作業指示を表示でき，その記録を現場にて直接入力することが可能である。また，作業者や検査者，作業

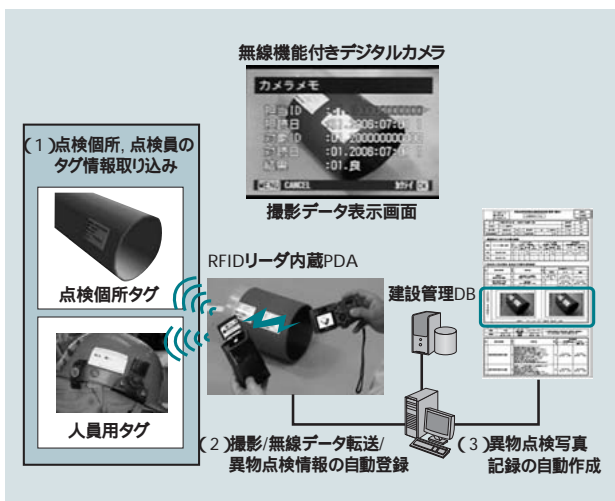


図4 配管施工における異物確認点検作業へのRFID適用概要
RFIDで異物点検の写真データと撮影情報(撮影箇所, 撮影者, 撮影日)を入力・関連づけ, 建設システムで記録を自動作成する。

に用いた計測器もICタグで自動入力することにより, ヒューマンエラーの防止に貢献できる。このようにRFIDを施工記録の作成に用いることで, 施工記録作成における記録の信頼性向上や作業者の負荷を低減させることが可能となった。

通常, 配管据付け作業においては, 溶接実施前に管内の異物混入の点検を実施しているが, 従来の点検作業記録作成においては, 点検者や点検個所の情報を記載したカードを点検部位と一緒に撮影し, 事務所に戻って手作業で写真記録を整理していた。そのため, 記録作成およびその管理においても多大な労力を要しており, この作業にもRFID技術応用システムを開発した。

このシステムでは専用カメラを用い, 点検対象個所のIDと撮影者のIDを読み取った後に対象個所を撮影することで, 点検結果の画像データにICタグ情報を自動的に関連付ける。また, この画像データは建設管理システムに登録されると, そのICタグ情報をキーとして溶接点作業記録に結び付けられ, 異物点検確認記録が自動作成される。これにより, 異物点検記録の信頼性向上と, ヒューマンエラー防止作業や管理作業にかかる負荷を低減することが可能となった(図4参照)。

3.3 ケーブル接続作業への応用

原子力発電プラントで施工するケーブルは, 約2万本もの膨大な物量である。これらの膨大なケーブルの接続作業手順は, 現地事務所でのケーブル接続図発行, 現場でのケーブル接続, 接続チェック, 現地事務所へ戻って実績入力の順に実施される。このケーブル接続においては, ケーブル接続図により心線に番号タグなどを付けて識別し, 誤接続防止を図っている。このため, 従来のケーブル接続作業の問題点としては, 現地事務所でのケーブル接続図発行ならびに作業実績入力の管理作業負荷が大きいこと, また現場でのケーブルの誤接

続の可能性があることが挙げられる。そこでこれらの作業負荷軽減, およびケーブル誤接続の防止を図るため, RFIDケーブル接続システムを開発した。

RFIDケーブル接続システムの概要を図5に示す。RFIDケーブル接続システムは, ケーブルの心線に付けたICタグ(心線RFID)と端子台に付けたICタグ(端子台RFID), これらICタグの読み込みならびにケーブル接続図を表示するリーダ/ライタ端末, ケーブル接続図ならびに作業実績を管理するケーブルデータベースから成る。このケーブルデータベースにより, 現地事務所でのケーブル接続図の発行管理が容易になる。さらに, リーダ/ライタ端末を用いて現場でICタグを読み込み,

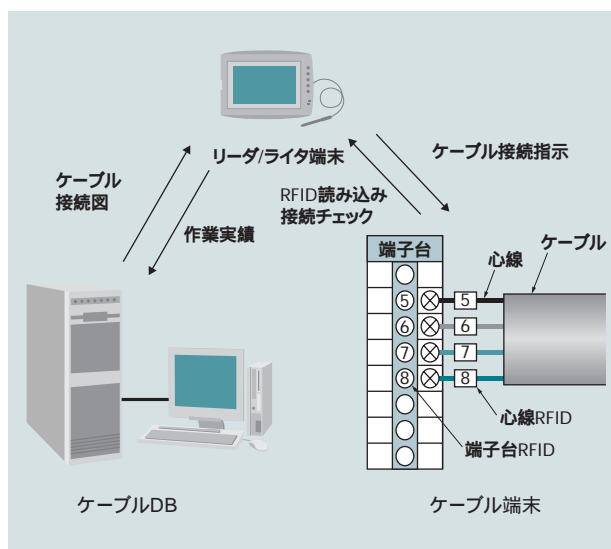


図5 RFIDケーブル接続システムの概要
結線ナビゲーションは管理対象となる心線RFIDと端子台RFID, 接続チェックするリーダ/ライタ端末とデータを管理するケーブルDBから成る。

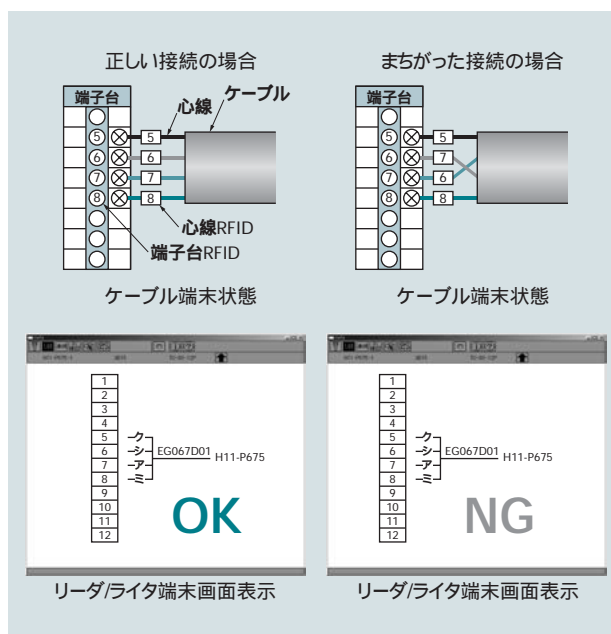


図6 誤接続防止機能
リーダ/ライタ端末で, 心線RFIDと端子台RFIDを読み込みケーブル接続図との自動照合によって接続の正誤を判別し, 結果をリーダ/ライタ端末へ表示する。

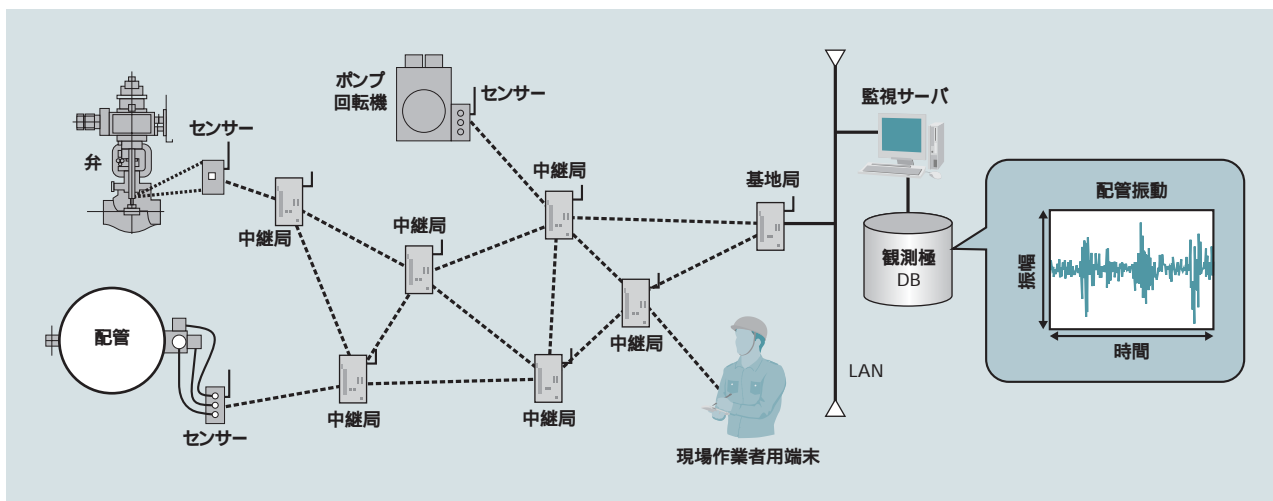


図7 プラント状態基準保全システムの構成例
 弁や配管などの状態観測値を複数の無線中継局から構成される冗長経路で監視サーバに転送し、異常検知や劣化予測を行う。

接続チェックをすることで、現地事務所へ戻ってからの作業実績管理が容易になり、作業負荷が軽減される。

RFIDケーブル接続システムでは、リーダ/ライタ端末で、心線RFIDと端子台RFIDを読み込みケーブル接続図との自動照合により、接続の正誤を判別し、その結果をリーダ/ライタ端末で表示することで、誤接続の防止となる(図6参照)。

4. 機器状態監視技術への応用

原子力発電所を継続して安全に運転するためには、発電プラントの予防保全が重要であるとともに、いかにして設備利用率を高めるかも重要である。それらを鑑みると、今後は運転中に設備の劣化状況を常時観測し、適切な時期に適切な機器に適切な方法で保全を施す状態基準保全の重要性が増していくと考える。

日立グループではセンサネット⁵⁾を用いたプラント状態基準保全システム(図7参照)を構築すべく、振動センサーを搭載したセンサーノードを開発し、工場での通信実証試験を完了し、実機適用への見込みを得た。

センサネットとは、多数の電池駆動型小型センサーデバイスが複数の無線中継器から構成される冗長経路で相互接続することにより監視網を展開する技術である。給電線や通信線が不要となることから設置場所の自由度が向上し、従来の有線センサー監視システムと比較して低い導入コストで多数の観測ポイントの常時監視が可能となる。このシステムは正常状態の証跡管理を行うとともに、異常発生時に速やかに検知・警報を発する。これにより、例えば地震発生後に、地震時の弁や配管の状態を把握でき、点検・保全計画の速やかな決定が可能となり、二次災害を抑制することができる。さらに、プラント稼働中に弁や配管の劣化状態を予測し、適切な時期に、点検が必要な機器や個所に対してその計画立案をサ

ポートするシステムである。

日立グループはセンサネットを共通インフラと位置づけ、各種機器の状態監視や試験データの収集に活用し、保全の高度化をめざす。

5. RFID応用の将来構想

これまでわれわれはICタグを認証し、DBへアクセスしてICタグに紐付けした情報を呼び出すことにより、製品や溶接資格の照合や施工者や使用計測器、作業実績の入力の信頼性向上や効率向上を実現してきた。今後、RFIDの通信性能が飛躍的に向上することは確実であり、さまざまなRFIDを応用した管理手法が発案されていく。そのような時代の流れに沿ってわれわれが描くRFIDの構想は、実世界に存在する対象物とコンピュータネットワークに代表される仮想世界との連携を担うことである。RFIDに期待される役割は、従来負担の大

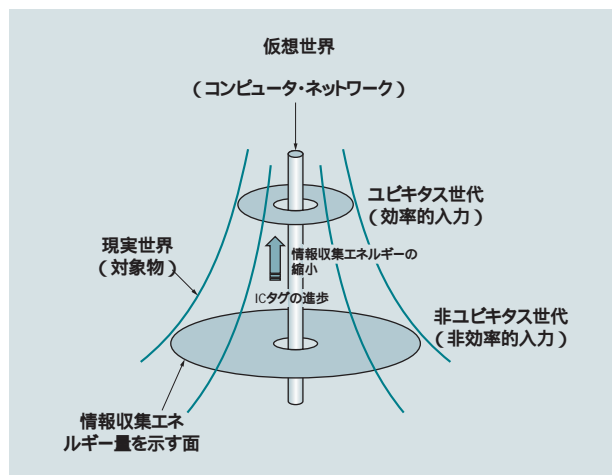


図8 RFIDは現実世界と仮想世界のかげ橋
 RFIDは情報処理に費やすエネルギーを縮小化し、ネットワーク技術と融合しコピキタス社会を構成する。

きかった現場からの情報収集に費やすエネルギーを縮小していくことにある(図8参照)。われわれはこのことを、原子力プラントシステムにRFIDを適用していく中で、実感をもって認識することができた。

配管やケーブルなどに素材の段階からID情報をタグ付けし(ソースタギング)、設計情報、施工履歴と関連付けてITシステムに記録する。これによって、実世界の物・作業情報はID情報をキーにネットワークを通じて、どこからでも参照することができる。逆に、仮想世界のデータから実世界の物・作業の状態を確認できる。このように実世界と仮想世界が今までにない細かい粒度でリアルタイムに一致し、コンピュータシステムの支援を受けながら作業者が的確に状況判断ができること(インテリジェンス)がRFID適用システムの理想である。日立グループは、この概念を人・物・作業の安全・高品質・高信頼を確保するシステムへ適用し、原子力発電プラントの品質と信頼性を確保していく。

執筆者紹介



恩田 公治
2005年日立製作所入社,日立GEニュークリア・エナジー株式会社,日立事業所 原子力プラント部 所属
現在,原子力発電プラントの建設管理システム開発に従事



室 啓朗
1993年日立製作所入社,中央研究所 情報システム研究センタ センサネット戦略プロジェクト 所属
現在,センサネットシステムの研究開発に従事
情報処理学会会員



若林 英祐
2003年日立製作所入社,日立GEニュークリア・エナジー株式会社,日立事業所 原子力プラント部 所属
現在,原子力発電プラントの配管設計に従事

6.おわりに

ここでは、RFIDを原子力発電プラントの生産管理技術、建設管理技術および保全技術に応用したシステムの開発内容、およびRFIDの将来構想について述べた。

近年のRFID技術の発展は顕著であり、日立グループは今後RFIDの機能性と汎用性の発展に合わせて積極的に適用範囲を拡大し、さまざまなRFID応用技術の研究開発を推進し、それにより、原子力発電プラントのさらなる品質、信頼性、そして安全性の向上をめざす。

参考文献

- 1) 川畑,外:RFID応用高度信頼性原子力プラント建設技術,日立評論,88,2,189~192(2006.2)
- 2) 宇佐美,外:ユビキタス技術ICタグ,オーム社(2005.3)
- 3) 宇佐美,超小型無線ICタグチップ「ミューチップ」,応用物理学誌,73, No.9, pp.1179-1183(2004.9)
- 4) 宇佐美:ユビキタス社会における「ミューチップ」の役割,情報処理学会誌, vol.45, No.4, pp.410-413(2004.4)
- 5) 小高,外:現場情報を価値につなげるセンサネット,日立評論,89,7,546~549(2007.7)



重見 良介
2003年日立製作所入社,日立GEニュークリア・エナジー株式会社 日立事業所 原子力製造部 所属
現在,原子力発電プラントの電気計装業務に従事
技術士(電気電子)
電気学会会員,原子力学会会員,保全学会会員,電気技術者協会会員



新井 良太
1991年日立製作所入社,日立GEニュークリア・エナジー株式会社 日立事業所 原子力制御計画部 所属
現在,原子力発電プラントの電気工事設計業務に従事



湯田 晋也
1995年日立製作所入社,日立研究所 情報制御研究センタ 情報制御第二研究部 所属
現在,RFID技術のプラントへの適用研究に従事
技術士(機械部門)
日本機械学会会員,精密工学会会員,原子力学会会員