

(財) 日本建設情報総合センター研究助成事業

先端情報技術を活用した
高精度生産性管理データの収集・分析技術に関する研究報告書

平成16年9月

高知工科大学 社会システム工学科

生産性技術研究会

目 次

1. はじめに	1
2. 建設プロジェクトの生産性管理	2
2.1. 見込生産業と受注生産業の生産性管理	2
2.2. 我が国の建設産業における生産性管理データ	3
2.2.1. 公共工事の標準歩掛	3
2.2.2. 科学的根拠の伴った数値に裏づけされた生産性	5
2.3. 生産性に関わる用語の定義	7
2.4. 研究実施計画の概要	7
2.4.1. 労務生産性データの収集・分析	7
2.4.2. 労務生産性管理データの収集・分析方法	7
2.4.3. 必要測定システムの開発	8
3. 生産性管理データの収集と分析に関する研究	9
3.1. RFID システム概要 (NNT-AT)	9
3.1.1. 概要	9
3.1.2. 構成	9
3.1.3. 動作確認	15
3.1.3.1. RFID タグの検出	15
3.2. RFID システム概要 (Alien Technology)	17
3.3. 実験概要および結果	23
3.4. RFID システムの評価	26
3.5. 実現場適用可能性の検討	29
3.6. 課題の整理	30
4. 第二段階の研究	32
4.1. ワークサンプリング調査技術	32
4.2. 高度情報技術を用いた生産性向上分析に必要なデータの収集	38
5. おわりに	39
参考文献・参考ホームページ	40
奥付	41

1. はじめに

本研究は、財団法人 日本建設情報総合センターの平成 15 年度研究助成によって行なわれたものである。

建設プロジェクトでの生産性管理データは“工事歩掛（ぶがかり）”といった形で現場の技術者達によって収集・分析されてきた。工事歩掛、すなわち生産性管理データは当該プロジェクトのコスト管理やスケジュール管理を行う上で極めて重要なデータであり、このデータなくして的確なプロジェクト管理は不可能となる。また、収集され、分析された生産性管理データは当該プロジェクトの管理だけではなく、次期プロジェクトの施工計画の立案、積算等にも活用されるものであり、建設生産活動の基盤といってよい。生産性管理データの収集・分析は工事に携わる技術者の最も基本的責務として捉えられてきた。しかしながら、近年、下請形態による分業化、専門化の進行や“市場単価導入”といった事業環境の変化によって、生産性管理データの収集・分析に対する重要性認識が急速に低下し始めている。生産性管理データに対する重要性認識低下は、元請企業から下請企業への不当工事価各提示、ダンピング入札、施工計画の精度低下、工事管理能力の低下といった様々な問題を生み出す原因となっている。

先に述べたように、建設プロジェクトでの生産性管理データは現場の技術者達によって収集・分析されてきたが、我が国では、一般に、現場の技術者達が個人データとして収集し、分析をおこなっている状況にある。収集・分析の方法は一定のルールはあるものの、科学的裏付けを伴った建設産業の共通システムとし確立されたものはない。

本研究は、急速に発達する情報技術を用いて、迅速、かつ科学的根拠を持った信頼度の高い建設プロジェクトの生産性管理データの収集・分析を可能にする方法論を見出すことを目的として実施したものである。本研究の責任者である草柳俊二は、1980 年 4 月より約 1 年半、建設マネジメントの研究のため、米国大手建設企業ブラウン&ルーツ社に企業留学した。この間、当該建設企業の生産性推進部門に属し、生産性向上プログラムの構築に取り組んだ。欧米先進諸国においても、生産性管理データの収集・分析に関する研究が行われている。手法としては、本研究の基礎的研究として位置づけたワークサンプリング等を用いた様々な試みが成されている。しかしながら、未だ、先端情報技術を活用した生産性管理データの収集と分析方法は確立されていない。

本研究は情報技術を駆使し、労働者と建設機械の動向をリアルタイムで把握し、生産性管理データを自動的に収集・分析する方法を見出そうとするものである。この技術が確立することによって、我が国の建設産業が抱えている様々な問題の解決基盤を形成することができると考える。信頼性のある生産性管理データの把握によって“適正な工事単価（Unit Price）”を見出すこと

ができる。適正な工事単価が見出せれば、施工計画や積算精度の向上はもとより、元請企業から下請企業への不当工事価各提示、異常低価格入札（ダンピング）等を定量的に分析することが可能になる。また、契約上件の変化に伴う設計変更・追加清算の対応も論理性、透明性をもって迅速におこなうことができる。信頼性のある生産性管理データをリアルタイムに収集・分析することが可能になると、生産性の変化、工事スピードの変化等が把握でき、工程管理の精度が向上する。本研究によって導き出された技術は、日本の建設産業だけではなく、国際建設プロジェクトにも活用できる。我が国の建設産業における国際競争力の向上につながることになる。

2. 建設プロジェクトの生産性管理

2.1. 見込生産業と受注生産業の生産性管理

生産性管理の目的は「より高品質の製品を、いかに少ないコストで、速やかにかつ安定して生産してゆくかを追求すること」であると云ってよい。建設プロジェクトにおいてもその本質は変わらない。だが、同一製品を同一生産場所で定常的製造する見込生産型産業と、特注製品を顧客の要求に応じて製作して行く見込再産業とでは生産性管理の位置付けがかなり異なってくる。建設プロジェクトは受注生産の典型であり、単一製品をその都度異なる生産条件で作成するという条件で生産活動を行ってゆくものである。このために条件変化に対応して行ける柔軟な生産管理体制が必要となる。

一般に、生産工場における品質管理（Quality Control）は、製品の全製造過程を通して、品質の維持・向上を達成するために必要な改善や改良をおこなっていく方法をとっている。これは、国際品質保証規格 ISO-9000 シリーズのシステム構造にも反映されており、生産性管理（Productivity Control）は品質管理の一部として捉えていると云ってよい。一方、建設プロジェクトでは、逆に品質管理を生産性管理の一部として捉える形となる。すなわち、品質管理、コスト管理、スケジュール管理、安全管理等を総括した形で生産性管理を実施してゆくことが求められる。これは、何が“製品”となるかの相違によるものである。建設プロジェクトにおける製品は完成建造物であると共に、品質、コスト、そして時間の“管理内容”そのものも“製品”の範疇となってくる。また、建設プロジェクトでは労働者、建設機械といった生産性管理の対象物が、日々、あるいは時間と共に移動するといった条件下で生産性向上を捉えてゆかねばならないことになり、データの収集もこういった条件に迅速に対応して行かなければならないことになる。

2.2. 我が国の建設産業における生産性管理データ

2.2.1. 公共工事の標準歩係

国土交通省所管の工事積算に使用される土木工事標準歩掛（以下、標準歩掛という）は、土木施工の実態からみて標準的な施工が行われた場合に必要となる技術者や作業員の人数等を表した労務量、鉄筋やコンクリート等資材の使用量、ブルドーザー、クレーン等建設機械の作業量等の諸量の標準的な値を表したものとして位置付けられている。1996年現在で126工種について標準歩掛が制定されている。その制定にあたっては、多数の施工現場の実態把握調査を実施し、求められた平均値をもって標準的な必要量、すなわち標準歩掛として設定する方法がとられている。標準歩掛の代表的な例としてアスファルト舗装作業歩掛を表に示す。当該作業を実施する際に直接必要となる費用は、各工数に作業量と単価を乗じた金額の合計となる。なお、土木工事標準歩掛以外の主な歩掛として、建築工事標準歩掛（旧建設省）土地改良事業等請負工事標準歩掛（旧農林水産省）、港湾土木請負工事積算基準（旧運輸省）等が挙げられる。

作業区分		アスファルト舗装施工幅(m)		
		3.0mを越え5m以下		
名称	単位	作業スペースが広い (バイパス等)	作業スペースが標準 (1車線程度)	作業スペースが狭い (修繕工事等)
世話役	人	0.04	0.06	0.07
特殊作業員	人	0.21	0.29	0.32
普通作業員	人	0.21	0.29	0.32
アスファルト混合物	t	100×厚さ(m)×設計密度×補正係数		
アスファルト乳剤	L	タックコート:42.8, プライムコート:126		
アスファルトフィニッシャー運転	h	0.33	0.45	0.51
ロードローラー運転				
タイヤローラー運転				
諸雑費率	%	タックコートの場合:2, プライムコートの場合:4		

注) 1. アスファルト混合物の補正係数は、改築工事：1.08、維持修繕工事：1.12とする。

2. 諸雑費は、アスファルト乳剤の散布、舗装器具および型枠、加熱燃料等の費用であり、労務費、機械損料及び運転経費の合計額に上表の率を乗じた金額を上限として計上する。

2.2.2. 科学的根拠の伴った数値に裏づけされた生産性

上述で示したように、土木工事標準歩掛、建築工事標準歩掛（旧建設省）土地改良事業等請負工事標準歩掛（旧農林水産省）、港湾土木請負工事積算基準（旧運輸省）といった書物にも、作業毎の標準的な歩掛が数値として出されている。確かに、歩掛の定義の文中に「現在の我が国における土木施工の実態からみて標準的な施工が行われた場合に必要・・・」表現されている。だ

が、標準歩係は直接的に工事現場の作業状況を把握して見出したものではなく、実態は、（財）社会経済生産性本部等からえたデータを用いて設定している。以下、（財）社会経済生産性本部への質問と、その回答を示す。

質問：貴財団が示す生産性データの根源はどこか。また、自分達で実際に生産性データを取得している場合、どのようにして収集しているのか。

回答：

(1) 定期刊行物である季刊生産性統計、労働生産性月報の原データは、産出量：経済産業省の「生産・出荷・在庫指数確報」の生産指数および「第3次産業活動指数」の活動指数投入量：厚生労働省の毎月勤労統計調査の常用雇用指数および労働時間指数を用いている。

(2) 建設業の産出量については「第3次産業活動指数」の中に全産業活動指数というものがある。

その中に建設業活動指数というものがあり、これを用いている。投入量は(1)と同じ。

(3) その他の方法による計測

上述は物的労働生産性であり、他に付加価値労働生産性が考えられる。

1) マクロ的な「国民経済計算」の付加価値および就業者数を用いる方法。

2) 「国民経済計算」では就業者の兼業者は二重計算になっているので、水準を比較するのであれば【労働力調査】の就業者を用いた方が良い

3) 「日経経営指標」などを用いれば企業ベースの測定ができる。

質問：建設業について、産出量、投入量ともに各省庁およびその他の公的機関が発表されている値を用いているという話だが、これは実際に現場での生産性データを基にしたものか。

回答：全産業活動指数の注に、「建設業活動指数」は建設総合統計(出来高ベース：国土交通省)により試算しているとあり、他省庁のデータを活用しているということになる。

これらの質疑応答から判断すると、現場での実質的データに基づき標準歩掛を設定しているとは考え難い。公共工事に用いられている“標準歩係”とは、いかなる意味を持った“標準”なのであろうか。実際の作業の生産性データに基づいた値でないとすると、“標準歩係”の信頼性はどの程度のものが疑問となってくる。通常、公共工事の予定価格は“標準歩係”を用いて算出される。“標準歩係”の信頼性を高めるには、科学的手法による実作業の生産性データの収集・分析が必要となってくる。

2.3. 生産性に関わる用語の定義

生産性の種類 一財団法人 社会経済生産性本部より引用一

1) 労働生産性 (Labor Productivity)

労働生産性は、労働を投入量として産出量との比率を算出したもので、労働者1人あたり、あるいは労働者1人1時間あたりの生産量や付加価値で測るのが一般的。

労働生産性は、国民経済全体でみた生産性と、特定の産業、業種、企業との生産性とに分けられる。また、労働投入量に対する産出量を重量や個数で示した場合を「物的労働生産性」といい、産出量をその時点での価格で示したものを「価値労働生産性」、さらに付加価値を労働投入量で除したものを「付加価値労働生産性 (Value Added Productivity)」と呼んでいる。社会経済生産性本部が1958年から発行している『季刊生産性統計』『労働生産性統計月報』は物的労働生産性を産業別、業種別に測定したものである。

(労働生産性の関係式) 物的労働生産性 = 生産量 ÷ 従業者数

$$\begin{aligned} \text{価値労働生産性} &= \text{生産額} \div \text{従業者数} = (\text{生産量} \times \text{製品価格}) \div \text{従業者数} \\ &= (\text{生産量} \div \text{従業者数}) \times \text{製品価格} \\ &= \text{物的労働生産性} \quad \times \text{製品価格} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{付加価値労働生産性} &= \text{付加価値額} \div \text{従業者数} \\ &= (\text{生産額} \div \text{従業者数}) \times (\text{付加価値額} \div \text{生産額}) \\ &= \text{価値労働生産性} \quad \times \quad \text{付加価値率} \\ &= \text{物的労働生産性} \quad \times \quad \text{製品価格} \quad \times \quad \text{付加価値率} \end{aligned}$$

2) 資本生産性 (Capital Productivity)

資本生産性は、資本を投入量として、資本ストック1単位あたりの産出量を示したもの。通常、機械や設備等の有形固定資本と生産量との比率で示され、機械、設備1単位あたりの生産量、運転時間あたりの生産量などの形で測定される。

(資本生産性の関係式) 資本生産性 = 生産量 ÷ 有形固定資産

この式は次のように展開できる。

$$\begin{aligned} \text{生産量} \div \text{有形固定資産} &= (\text{生産能力} \div \text{有形固定資産}) \times (\text{生産量} \div \text{生産能力}) \\ &= \text{固定資産 1 単位あたり生産能力} \times \text{稼働率} \dots\dots\dots \text{①} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{生産量} \div \text{有形固定資産} &= (\text{生産量} \div \text{従業者数}) \div (\text{有形固定資産} \div \text{従業者数}) \\ &= \text{物的労働生産性} \quad \div \quad \text{労働装備率} \dots\dots\dots \text{②} \end{aligned}$$

①及び②より

$$\begin{aligned} \text{物的労働生産性} &= \text{労働装備率} \times \text{固定資産 1 単位あたり生産能力} \times \text{稼働率} \\ &= \text{労働装備率} \times \text{資本生産性} \end{aligned}$$

3) 要素生産性 (Total Factor Productivity)

全要素生産性は、労働生産性や資本生産性のような個別の生産要素の生産性ではなく、労働や資本を含むすべての生産要素を投入量とした場合の産出量の関係を示したもの。全要素生産性を直接計測することは難しいので、実際は、産出量の変化率に対して、資本および労働投入量の変化率が貢献している部分との差として計測されることになる。この差（全要素生産性）は、通常、「技術進歩率」と呼ばれており、イノベーションやそれによって引き起こされる労働や資本の質的向上、経営の効率性などを反映したものと理解されている。社会経済生産性本部では、わが国の上場企業について付加価値ベースの全要素生産性を測定している（『上場企業の生産性分析』（2001年7月））。

4) 国民経済生産性 (GDP per person employed)

国民経済生産性は、国の経済全体の生産性を示した指標である。産出量としての国内総生産（GDP＝付加価値）を投入量としての就業者総数で除したもの。これも労働生産性の一つで、付加価値労働生産性を示した指標である。

なお、就業者総数の代わりに、人口総数を投入量とした場合（人口1人あたりのGDP）は、国民の生活水準を示す「国民経済福祉指標（豊かさ指標）」として用いられることがある。社会経済生産性本部が1989年から毎年1回発行している『労働生産性の国際比較』は、購買力平価でドル換算した各国GDPをそれぞれの就業者総数で除すことによって国民経済生産性を測定し、国際比較したものである。同時に、国民経済福祉指標の国際比較も行っている。また、県内総生産（付加価値）を就業者数（投入量）で除した国民経済生産性の各県版ともいえる県別の付加価値労働生産性についても産業別に測定している（『県別生産性比較』（1997年11月））。

2.4. 研究実施計画の概要

2.4.1. 労務生産性管理データの収集・分析

工事遂行資源には労務、建設機械、材料の三要素がある。プロジェクトの生産性管理を行うためには、この三要素の動向を適格に把握しなくてはならない。本研究では、三要素の内“労務”に焦点を合わせ、その生産性管理データの収集・分析方法を探究することにした。

2.4.2. 労務生産性管理データの収集・分析方法

研究対象とした生産性管理の構造は以下のようにする。

- 1) 本研究は、生産性管理の第一段階として一般に用いられる、一単位の仕事を終了するためにどれだけの労働力が使用されたかを測定し、これを生産管理データとする。“使用された労働量の適否”に関する分析は生産性管理の第二段階での研究対象とした。
- 2) 生産管理データの収集・分析は職種別（土工、鳶、大工、鉄筋工等、100種程度まで入力可能）、役職別（現場監督、職長、熟練工、一般工等、10種程度まで入力可能）のデータまでとし、個々の労働者（固有名詞）の生産性分析は行なわない。
- 3) 労働者一人一人に超軽量の発信装置（ペンダントタイプ）を装着させ、労働者の動きをリアルタイムで受信可能にする。収集した労務生産性データは、工事現場事務所に設置した設備に集積され、生産性分析としてアウトプットできるようにする。

建設プロジェクトでの生産性管理分析は、以下の内容のデータを把握する必要がある。

- ① 個々の作業者が、
- ② 何時から何時まで、
- ③ どの作業(= 何処で)を、
- ④ どのような状況で

作業に従事したかを把握しなければならない。したがって、この4項のデータを定量的かつ科学的に収集・分析する技術を必要となる。今回の研究では、第1項目から第3項目までのデータを収集する事とし、第4項目については、第二段階での研究に委ねることにする。

すなわち、図2-1に示すように、無線装置によって、各作業者がどのゾーンに何時から何時まで（どのようにして）居たかを自動的に測定し、そのデータを現場事務所に送り、これを分析し、生産性管理データとして蓄積する装置を開発することを目的とする。

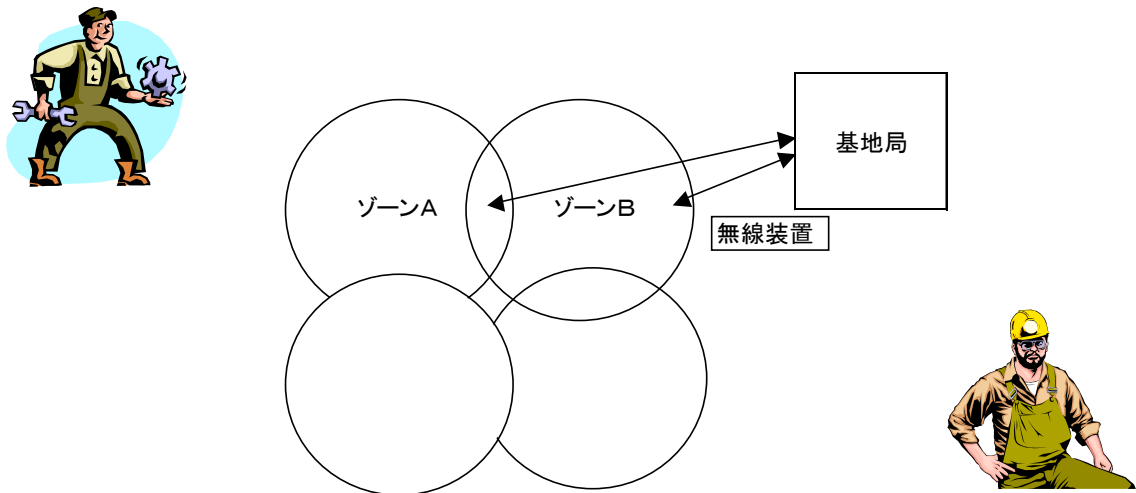


図 2-1 システム構成図

2.4.4. 必要測定システムの開発

生産性管理データを収集し、分析し、蓄積する一連の作業を自動的に行なえるシステムとして以下の装置を開発する必要がある。

① 位置評定及び通信装置の開発

プロジェクトの現場で各作業に携わる作業者の作業位置とその時間 (Time Stamp) を瞬時に、かつ継続的に計測し、そのデータを基地局に送るための装置。各作業員のヘルメットに装着した発信機が送る電波を、各ゾーンに設置した受信機で受信し基地局に設置したコンピューターに集積する仕組み。

② データ分析システムの開発

基地局のコンピューターに集積されたデータを分析し、生産性管理データとして蓄積するシステムの開発。

③ 動作検出技術 (第二段階での研究)

各作業者がどのような状況で当該作業に携わっていたかを検出するシステム。例えば、直接的に生産性に寄与する動作を行っていたか、移動していたか、動作をせず休んでいたか等を見分ける装置で、発信タグに加速度計を内蔵し、各労働者の動きを検出するシステムを考える。

3. 生産性管理データの収集と分析に関する研究

生産性管理データの収集・分析を行なうために必要な無線情報送信システムについて、適合する既存のシステムを調査した。その結果、2種類のシステムを見出すことができた。以下、それらのシステムについての考察を述べる。

3.1. RFID システム概要 (NTT-AT)

3.1.1. 概要

位置管理システム（以降、本システム）は、微弱無線を利用してアクティブ型 RFID (Radio Frequency Identification) が付与された人や物の位置を検出し、エリア情報とともに DB (Data Base) 化するものである。サービス提供用のサーバ等と連携することにより位置情報と連携したサービスを開発、提供することを可能になる。

3.1.2. 構成

1) 全体構成：位置管理システムは、「位置管理サーバ」「位置検出サーバ」「RFID タグ/リーダ部」から構成される。全体構成を下图に示す。

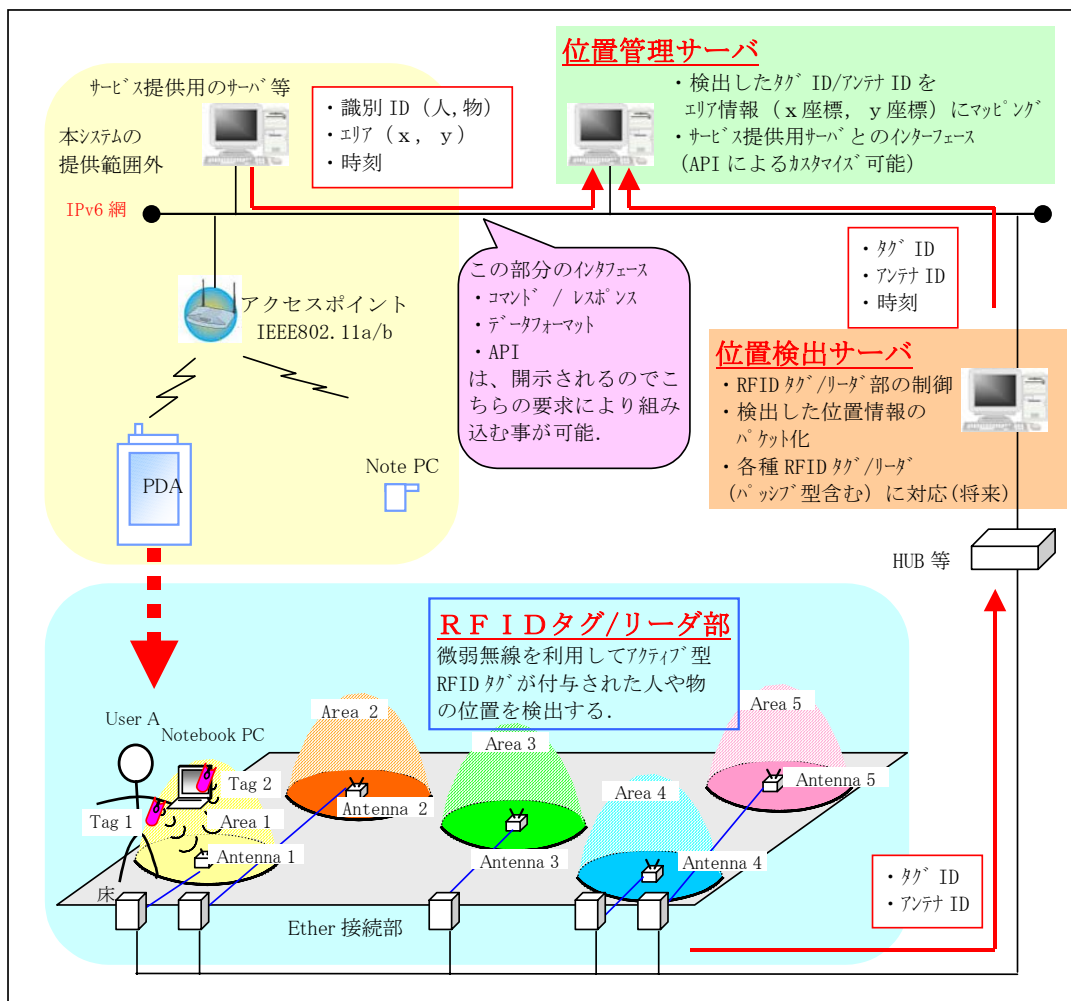


図 3-1 位置管理システムを利用した構成例

2) 位置管理部

(1) 位置管理サーバ (Location Manager)

位置検出サーバから報告された RFID 情報をエリア情報にマッピングして、管理する為のサーバである。RFID 情報をどのエリアにマッピングするかテーブルは、管理者が画面から設定可能な機能を有している。

表 3-1 位置管理サーバの入出力

入出力	データ
入力 (位置検出サーバ)	タグ ID, アンテナ ID
出力 (サービス提供用サーバ等)	タグ ID, エリア情報 (X 座標, Y 座標), タイムスタンプ

(2) インタフェース仕様の開示

サービス提供用サーバ等と位置管理サーバ間のインタフェース (コマンド/レスポンス, データフォーマット, API) は、開示されるので本システムを改善し、組み込み事が可能である。

3) 位置検出部

(1) 位置検出サーバ (Location Detection System)

RFID タグ/アンテナ部から報告された RFID 情報を処理する為のサーバである。RFID 情報をアンテナ ID にマッピングして、時刻情報を付与し位置管理サーバに報告する。RFID リーダの設定は、管理者が画面から設定可能な機能を有している。

表 3-2 位置検出サーバの入出力

入出力	データ
入力 (RFID タグ/リーダ部)	タグ ID, アンテナ ID (IP アドレス)
出力 (位置管理サーバ)	タグ ID, アンテナ ID, タイムスタンプ

(2) 拡張性

本製品の位置検出部は、各社の RFID タグ/リーダ部に拡張可能な構成となっている。表 4-3 に現在対応している RFID タグ/リーダ部と将来対応予定の形状を示す。

表 3-3 RFID タグ／リーダ部 対応一覧

構成	説明	状況
RF Code 社 Spider	微弱無線帯を使用するアクティブタグ	対応中
NTT-AT 社 開発品	床面にリーダを引き詰める方式により 高精密度を実現するアクティブタグ	開発中
IC カード	ISO/IEC14443 に対応した 近接型 RFID (IC カード)	検討中
無線タグ	ISO/IEC15693 に対応した 近傍型 RFID (無線タグ)	検討中

(3) RFID タグ／リーダ部の構成

RFID タグ／リーダ部の構成を図 3-2 に示す。

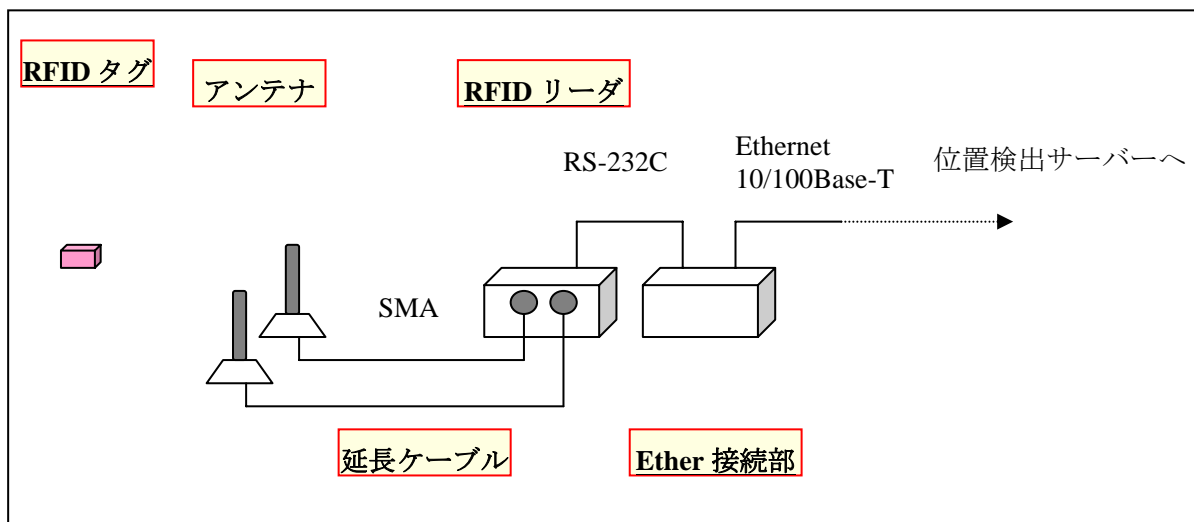


図 3-2 RFID タグ／リーダ部の構成

表 3-4 RFID タグ／リーダ部の構成

構成	説明
RFID タグ	微弱無線帯を使用するアクティブタイプ タグ ID を送信する.
RFID リーダ	上記タグを検出するリーダ RS-232C で情報を送出する.
アンテナ	リーダに取り付けるアンテナ (2 本 1 組)
延長ケーブル	アンテナの延長ケーブル (SMA 形状)
Ether 制御部	RS-232C 情報を Ether フレームに変換して IP ネットワークに送出する. その際に付与される IP アドレスでタグ ID を検出したリーダ(アンテナ)を特定する.

4) 仕様

本システムの仕様を以下に示す。

(1) 位置管理サーバ (Location Manager)

表 3-5 位置管理サーバ (Location Manager)

機能		内容
PC 本体	本体	AT 互換機
	CPU	Pentium 4 2.4GHz 以上
	必要メモリ	512Mbyte 以上
	ハードディスク空容量	100Mbyte 以上
	ディスプレイ	解像度 1280×1024 ドット以上
	接続インタフェース	RJ-45 (Ethernet 10/100Base-T) × 1 Port
ソフトウェア	OS	日本語版 Microsoft Windows XP Professional SP1
	プロトコル	IPv6, TCP, UDP
	アプリケーション	位置管理サーバプログラム

(2) 位置検出サーバ (Location Detection System)

表 3-6 位置検出サーバ (Location Detection System)

機能		内容
PC 本体	本体	AT 互換機
	CPU	Pentium 4 2.4GHz 以上
	必要メモリ	512Mbyte 以上
	ハードディスク空容量	100Mbyte 以上
	ディスプレイ	解像度 1280×1024 ドット以上
	接続インタフェース	RJ-45 (Ethernet 10/100Base-T) × 2 Port
ソフトウェア	OS	日本語版 Microsoft Windows XP Professional SP1
	プロトコル	IPv4, IPv6, TCP, UDP
	アプリケーション	位置検出サーバプログラム

(3) RFID リーダ (製品名 : RF Code 社 Spider)

表 3-7 リーダ部

機能		内容
受信周波数		303.825MHz
アンテナ		ヘリカルアンテナ 2 本 (標準)
通信距離		最大約 20m (標準アンテナ使用時) ※ ¹ (本システムでは出力調整により半径 2m で使用)
通信距離調整		内蔵アッテネータにより 8 段階に調整可能
機能	複数タグ同時認識読み取り	可能
	最大同読み取り数	500 個 (7 秒間隔(標準)送信タグ時) 1000 個 (15 秒間隔送信タグ時)
	タグ存在監視機能	可能
状態表示	LED	3 個 (電源, 読み取り, 充電中)
上位通信機能	通信規格	RS-232C
	接続形式	DSUB-9 ピン
	通信速度	9600bps, 19200bps, 38400bps (内部 DipSW で設定)
	通信方式	全二重調歩同期式 データ長 : 8 ビット パリティ : なし ストップビット : 1 ビット
	フロー制御	RTS/CTS (ハードウェア制御)
	伝送データ	ASCII 文字列+改行 (CR)
電源		AC100-240V (AC アダプタ使用), 12VDC 充電池内蔵
外形寸法		127mm (W) × 122mm (H) × 38mm (D) (突起部除く)
質量		約 450g

※ 1. 設置条件により変動する可能性あり.

(4) RFID タグ (製品名 : RF Code 社 Spider 専用 Tag)

表 3-8 RFID タグ部

機能	内容
送信電波	周波数 : 303.825MHz, 微弱対応 (500 μ V/m @3m)
最大 ID 数	約 40 億 (アルファベット 7 桁)
ID 書き込み	工場設定
ID 送信間隔	標準 7 秒 (最短 0.2 秒)
電源	コイン型リチウム電池 1 個 (電池交換可能)
電池寿命	室温, 7 秒間隔 (標準) 送信時で約 3 年間 0.2 秒間隔送信時で約 5 ヶ月
保護構造	なし (日常生活防水対応可能)
外形寸法	32mm (W) \times 62mm (H) \times 12mm (D)
質量	約 20g

(5) Ether 接続部 (製品名 : センチュリー・システムズ社 FutureNet FA-11)

表 3-9 Ether 接続部

機能	内容
ネットワーク側インタフェース	Ethernet (10BASE-T)
RS-232 側インタフェース	RS-232C, Dsub 9 ピンオス \times 1
メモリ	フラッシュメモリ 1M バイト
電源	5V 0.5A (MAX) , AC アダプタ標準装備
外形寸法 (突起部除く)	基板 : 85mm (W) \times 54mm (D) \times 20mm (H) ケース : 100mm (W) \times 62mm (D) \times 28mm (H)
重量	100g (ケース付)

3.1.3 動作概要

以下に RFID タグを検出, 非検出 (検出しなくなった) 場合の各ソフトの動作を示す.

3.1.3.1. RFID タグの検出

RFID リーダが RFID タグを検出し, 位置検出サーバ, 位置管理サーバが認識するまでを以下に示す.

- ①RFID リーダが RFID タグを検出する.
- ②RFID リーダから位置検出サーバがタグ検出情報を取得し, 画面に表示する. (図 4-5 参照)
- ③位置検出サーバからタグ検出情報を位置管理サーバが取得し, 画面に表示する. (図 4-6, 図 4-7 参照)
- ④サービス提供用サーバに位置情報を通知する. その後はサービス提供用サーバによりサービスが提供される.

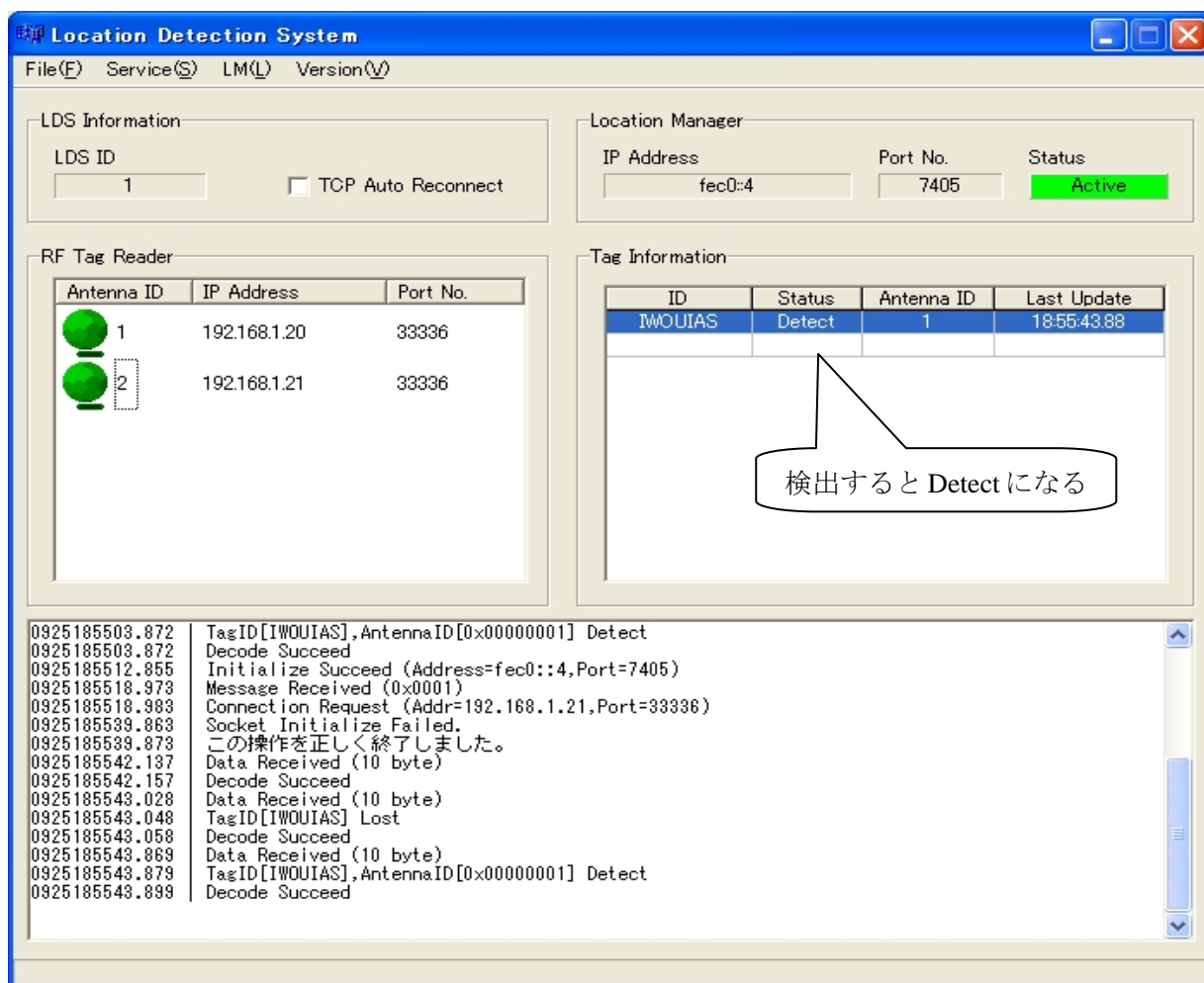


図 3-3 RFID タグ検出 (位置検出サーバ)

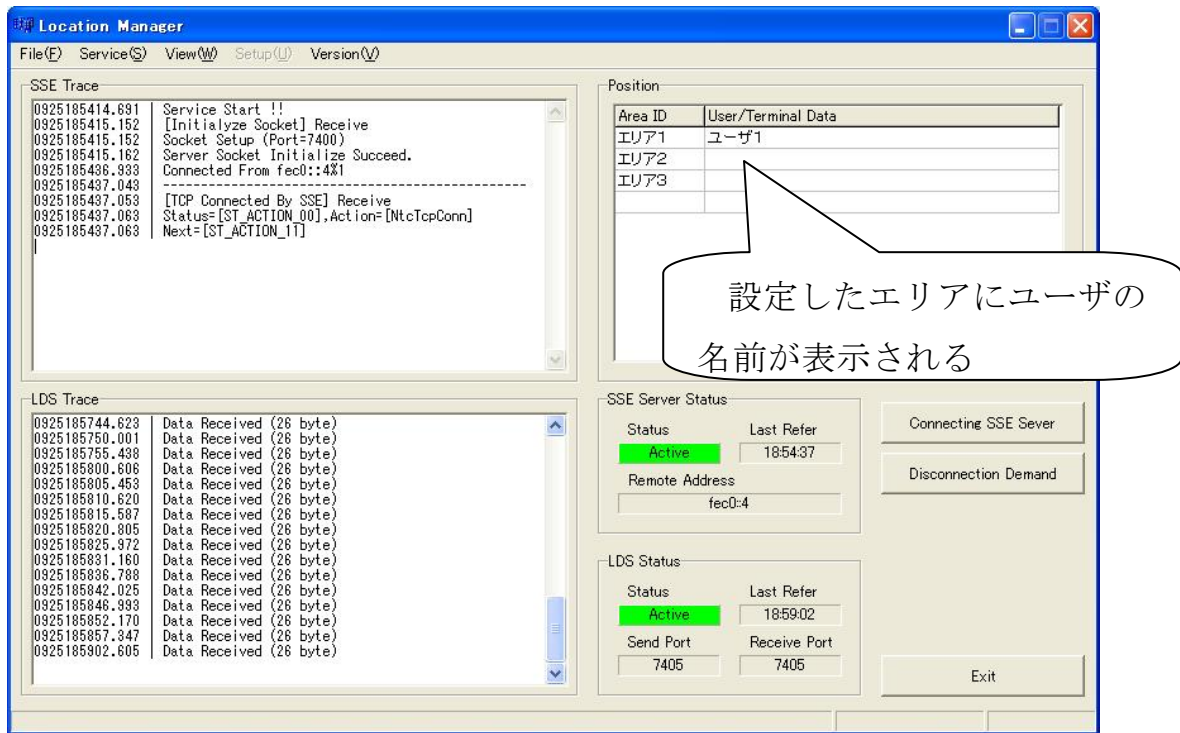


図 3-4 RFID タグ検出 (位置管理サーバ, メイン画)

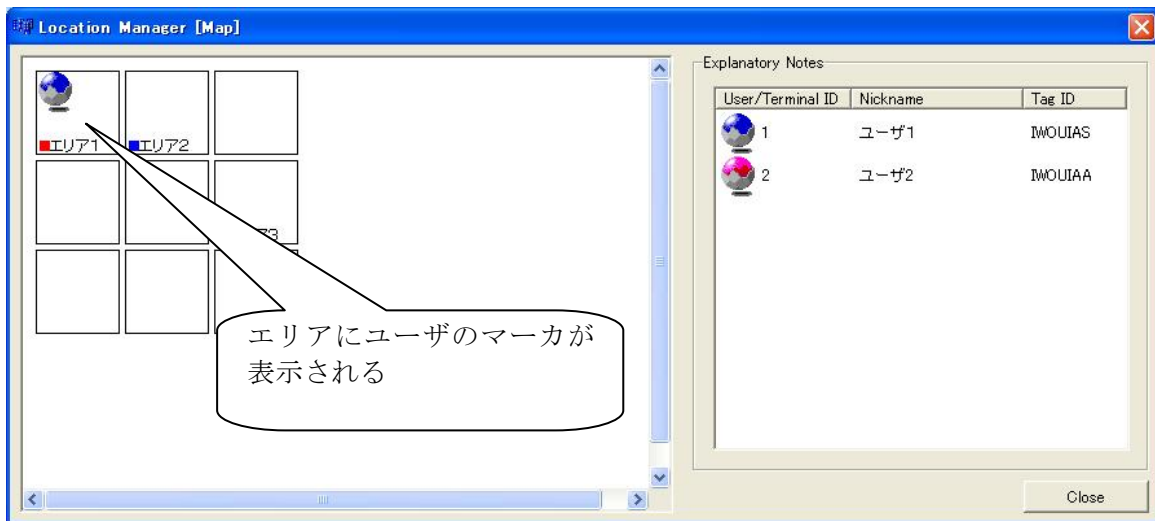


図 3-5 RFID タグ検出 (位置管理サーバ, Location Map 画面)

3.2. RFID システム概要 (Alien Technology)

Alien Technology 社製の RFID システムには二つのタイプがある。パッシブタイプ (Passive Type Tag) とアクティブタイプ (Active Type Tag) である。相違点は、タグ自身が電波を発するか発しないかであるが、基本的なシステムの考え方は上述に挙げた NTT-AT 社製の RFID システムとほぼ同じである。よって、ここでは Alien Technology 社製のシステム概要 (915MHz の Passive Type -Tag, Reader, Development kit-および 2450MHz の Active Type -Reader, Development kit-) の詳細について述べる。



写真 3-1 RFID System 設置状況



写真 3-2 Passive Type Tag の写真

915MHZ Passive Type

915 MHz RFID Tag

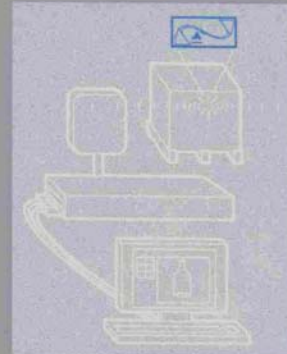
Alien Technology has developed the first RFID IC that operates according to the Auto-ID Center's UHF specification. This open specification enables the development of very small, low cost ICs while delivering the features and performance required to address key track and trace, logistics, and supply chain applications.

Alien's NanoBlock® ICs and Fluidic Self Assembly (FSA) process provide ultra-high tag volumes at ultra-low cost.

Alien's tags function with any reader that complies with the Auto-ID Center specification, including Alien, ThingMagic, Markem, and others in development.

Alien is working with partners Rafsec and Avery Dennison for manufacturing of low-cost inlays and finished tags.

Alien Technology. Bringing RFID down to earth™



Frequency: 902-928 MHz

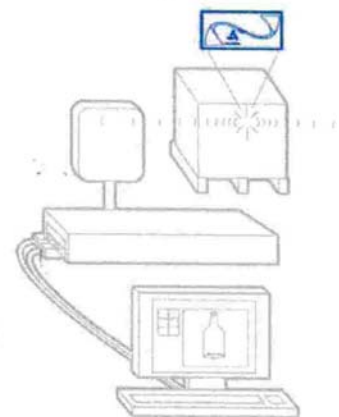
Memory: 64-bit user-programmable memory factory or field programmable
16-bit CRC, with security features.

Anti-collision performance: Data rate up to 200 tag reads per second.
No limit to the number of tags in the field.

Power Source: Incident reader signal (passive backscatter)

Dimensions: Several antenna configurations will be available to meet specific tagging needs. Typical size for optimal performance is approximately one by four inches.

Read range: Up to 5 meters in free space.



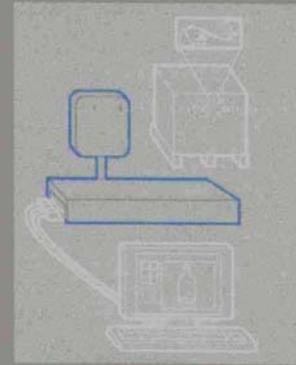
資料 3-1 Passive Type Tag の概要及び性能

915 MHz RFID Reader

Alien Technology's RFID reader operates according to the Auto-ID Center's UHF specification. This specification enables cost-effective, high-performance readers appropriate to complement low-cost RFID tags.

Alien® readers integrate seamlessly into existing IT infrastructure using standard network protocols. Software bridges to Savi, OATSystems, and Apriso platforms are under development.

This general purpose reader is well-suited for use in portals and conveyors in applications such as logistics, supply chain, and warehouse management.



Architecture:
Point-to-multipoint
reader network
Frequency: UHF band
902-928 MHz
FCC Compliance:
Part 15, unlicensed

Alien Technology. Bringing RFID down to earth™

■ ■ READER

Frequency: 902 - 928 MHz, Unlicensed FCC spread-spectrum
<frequency hopping>

Power Supply: 12VDC, 2A (unregulated),
100V-240VAC, 50/60 Hz input

Power Consumption: 25 Watts (120 VAC at 500 mW)

Communications Ports: RS232 interface, LAN TCP/IP interface

Logic Ports: General purpose I/O interfaces (e.g. monitors,
sensors)

Dimensions: (cm) 19 x 26 x 5 ■ (in) 7 x 10 x 2

Weight: (kg) 2.1 ■ (lb) 4.6

Operating Temperature: (°C) 0 to +50 ■ (°F) +32 to 122

Storage Temperature: (°C) -20 to +70 ■ (°F) -4 to 158

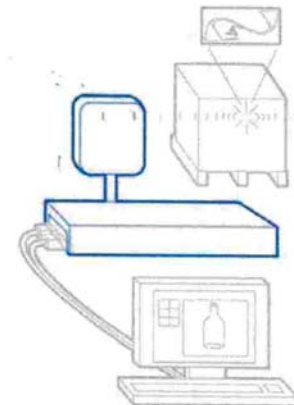
■ ■ ANTENNA

Types: Circularly and linearly polarized

Dimensions: (cm) 22 x 27 x 4 ■ (in) 8.5 x 10.5 x 1.65

Weight: (kg) 0.57 ■ (lb) 1.25

Cable: RG 58, 1.8 m (6 ft) length



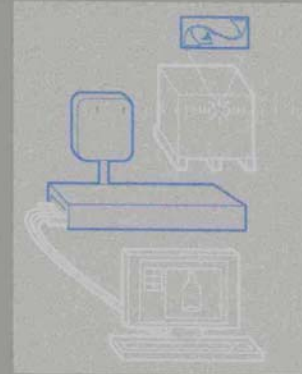
915 MHz RFID Development Kit

Alien's 915 MHz RFID development kit provides an affordable, easy to use way to test system performance in your applications and facilities.

The system includes all the components you need to create a fully functioning RFID solution simply by connecting with your own PC or network. Within minutes you can be ready to test applications and configurations.

Use the software's library of graphic images and sounds, or add your own to perform demonstrations for your organization or customers and explore the many ways you can deploy long range RFID solutions across your enterprise.

Alien Technology. Bringing RFID down to earth™



Development Kit includes reader, antenna and power supply with cables, Development System Software CD, demo tags & user guide.

■ Requirements

PC running Windows 98 or higher, with CD-ROM drive and one available RS-232 port or ethernet network

Standard grounded 100-240 VAC power

■ Development Kit includes

Nanoscanner™ reader with power supply and cable

1 Circularly polarized antenna

RS-232 Serial Cable: DB-9 male/female serial

Antenna with coaxial cable

Power supply and cable

Development software CD supporting Java and Visual Basic (includes API's, DLL, Sample Demo Code)

Comprehensive user guide

Sample Alien ePC tags assortment

Antenna Cable: RG 58, 1.8 m (6 ft) length

Impedance terminator

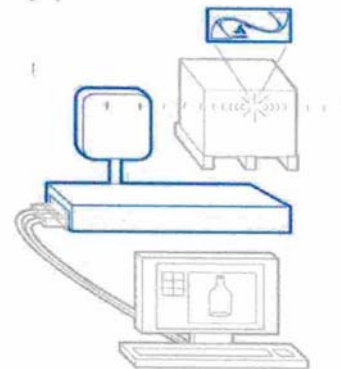




写真 3-3 Active Type Tag の写真

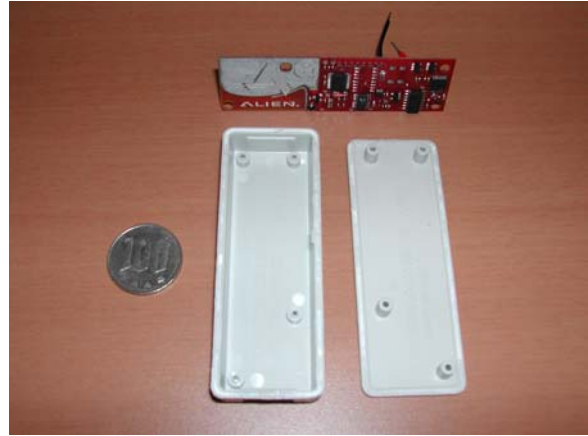


写真 3-4 Active Type Tag の中身写真

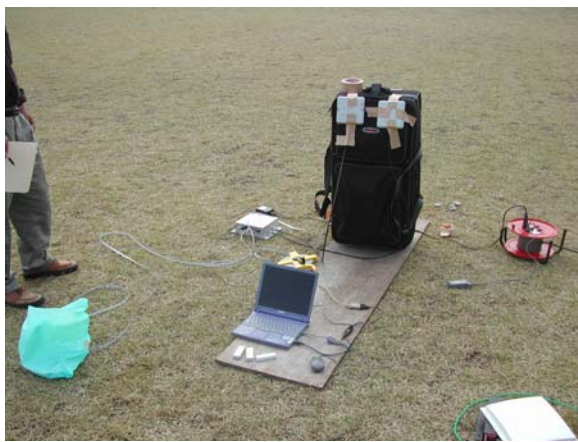


写真 3-5 Active Type system の設置状況 1



写真 3-6 Active Type system の設置状況 2

2450MHz Active Type

2450MHz Long Range Backscatter System

Alien Technology's long-range, high performance battery-powered backscatter system fills the gap between short-range passive systems and high-cost active RFID systems. Tags can be read at distances over 30 meters.

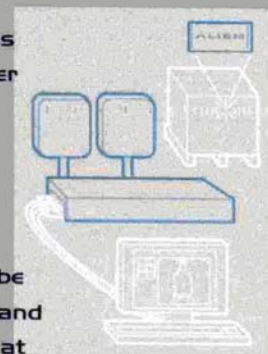
Optional I/O capability enables the tags to accumulate data as a remote sensor, or act as a long-range RF-controlled actuator.

In one available configuration, the system can monitor and record temperatures at user-defined time intervals. With this system, tags can be applied to temperature-sensitive products at production or shipment, and the temperature history of the product can be downloaded wirelessly at the final destination or at any point along the way, indicating, for example:

- if, when, and for how long a product was out of a temperature range
- who was handling the product when it went out of range
- what is the expected impact on product shelf life or saleability.

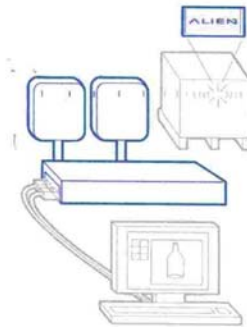
Readers are capable of sorting through and downloading data from multiple tags in an area, or can focus on a single tag of interest.

Alien Technology. Bringing RFID down to earth™



■ ■ R E A D E R

Frequency:	2450 MHz, spread-spectrum <frequency hopping>
FCC Compliance:	Part 15, unlicensed
Power Consumption:	25 Watts (120 VAC at 500 mW)
Power Supply:	12VDC, 2A (unregulated), 100V-240V, 50/60 Hz input
Communications Ports:	RS232 serial interface; LAN TCP/IP interface
Logic Ports:	General purpose I/O interfaces (e.g. monitors, sensors).
Antenna Ports:	1 Receive, 1 Transmit; Reverse thread SMA connectors
Indicators:	Power, RF, Transmit, Receive, Sniff, Lock
Dimensions:	Reader: (cm) 19 x 26 x 5 ■ (in) 7 x 10 x 2 Antenna: (cm) 18.5 x 4 x 2 ■ (in) 7.25 x 5.5 x 0.75
Weight:	Reader: 2.1 kg (4.6 lb) Antenna: 0.57 kg. (1.25 lb)
Operating Temperature:	(°C) -0 to +50 ■ (°F) -32 to +122
Storage Temperature:	(°C) -20°C to +70°C ■ (°F) -4 to +158



■ ■ T A G

Bit Rate:	16K Bits per second
Range:	30 meters nominal
Memory (minimum):	512 bytes non-volatile read/write
Options:	Real time clock; On-board temperature sensor (with accuracy of +/- 2.0 deg C); Analog/digital I/O; I ² C peripheral bus
Power Source:	3 volt 220mA/h lithium battery
Operating Temperature:	-25°C to +70°C ■ -13°F to 158°F
Storage Temperature:	-40°C to +85°C ■ -40°F to 185°F
Mechanical Shock:	IEC 68-2-27
Vibration:	IEC 68-2-6
Dimensions:	(cm) 8.3 x 2.9 x 1.5 ■ (in) 3.25 x 1.15 x .56
Weight:	25gm (1oz.)

資料 3-4 Active Type Tag & Reader の概要及び性能

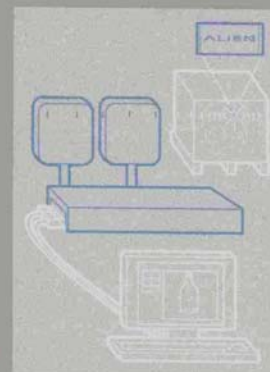
2450 MHz RFID Development Kit for Battery Powered Backscatter Tags

Alien's 2450 RFID development kit provides an affordable, easy to use way to test system performance in your applications and facilities.

The system includes all the components you need to create a fully functioning RFID solution simply by connecting with your own PC or network. Within minutes you can be ready to test applications and configurations.

Use the software's library of graphic images and sounds, or add your own to perform demonstrations for your organization or customers and explore the many ways you can deploy long range RFID solutions across your enterprise.

Alien Technology. Bringing RFID down to earth™



Development Kit includes reader, antennas and power supply with cables, software CD, demo tags & user guide.

■ Requirements

PC running Windows 98 or higher, with CD-ROM drive and one available RS-232 port and/or ethernet network

Standard grounded 100-200 VAC power

■ Development Kit includes

Nanoscanner™ reader with power supply and cable

RS-232 Serial Cable: DB-9 male/female serial

Development software CD supporting Java and Visual Basic (Includes API's, DLL, Sample Demo Code)

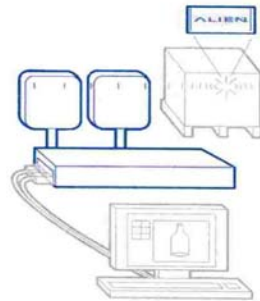
Comprehensive user guide

2450 MHz battery powered backscatter tags

2450 MHz battery powered backscatter tags w/temperature sensors and real-time clock

Antennas (2) , 1 transmit, 1 receive

Antenna Cables (2): RG 58, 1.8 m (6 ft) length



資料 3-5 Active Type Development kit の概要及び性能

3.3. 実験概要および結果

上述でも説明したように、RFID システム（位置管理システム）は、微弱無線を利用して人や物の位置を検出するものである。微弱電波の性質上、外部からの影響、例えば金属や人、建物などによって無線の方向性や検出距離、検出精度にいくらか影響を与える事が予想される。そこで、外部からの影響がほとんどない自由空間における RFID システムの基本的な性能を把握し、基準となる測定データが必要となってくる。これが分かると、最終的に建設現場で本システムを適用した場合には、当初の機能を保持しているかどうかの比較・検討が可能となる。

RFID System 基本性能測定実験

調査日：平成 15 年 11 月 4 日

場所：工科大グラウンド（自由空間）

天候：晴れ

実験の目的：無線タグの交信ゾーン計測

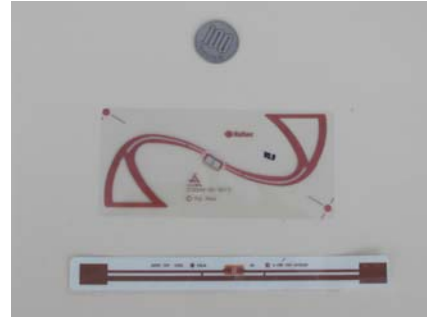


サンプル

Nanoscanner (Alien Technology)

2450MHz Active Type Tag は 1 種類

915MHz Passive Type Tag は 2 種類(写真参照)



・実験方法 1：自由空間

1. 工科大グラウンド（縦：110m，横：74m）の中央に機器を設置する。（理由：公称最大 50m 近く検出するとあったため，中央部に設置すれば自由空間を確保でき，実験環境が確保可能）
2. 受信機を基準として，前方 180 度の範囲を測定する。（理由：機械の性質上，180 度の検出範囲が限界）
3. モニター画面（無線を受信しているかどうか判断できる）を見ている人とタグを持っている人の二班に分かれる。モニター画面を見ている人は，タグを持っている人に指示を与えて前後左右に動いてもらい。無線の指向性・検出範囲を測定する。
4. 検出範囲と検出範囲外の境界線を見つける事が出来れば，そのポイントに石を置き，目印とする。
5. 以下，同様の作業を繰り返し，無線の指向性・検出範囲を目で把握できるようにする。
6. 最後に，基準とした受信機から石を置いたポイントまでの距離をメジャーで測り，範囲を決定する。
7. この作業を三回繰り返し，平均値を取った。



写真 4-7 RFID System 基本性能測定実験

・実験方法 2：建設現場

測定方法は基本的に自由空間で行った作業と同様。ただし、受信機の設置条件が異なることを留意し、対応する必要がある。また、遠方への伝播可能性も考えられるため、離れた場所へ移動して確認する調査も必要である。



写真 4-8 建設現場での実験風景

・実験結果

交信ゾーンは下図のようになり、概ね以下のようなことが言える。

- ・ Active は 12×4 (3~5) メートル
- ・ Passive は 2×0.75 (0.5~1) メートル

1. 屋外での交信ゾーン測定結果から Active で約 12×4 メートル, Passive で 2×0.75 メートルが現在入手したタグの実力値では無いかと考えられる。しかし, Active に関しては電池切れ, 或いはその直前の可能性も高く, 再度調査が必要である。
2. 外部条件の影響, 例えばアンテナの背後やタグ近傍の鉄板の影響等, 押さえておかなければならない条件が何点かある事も考慮に入れておく必要がある。

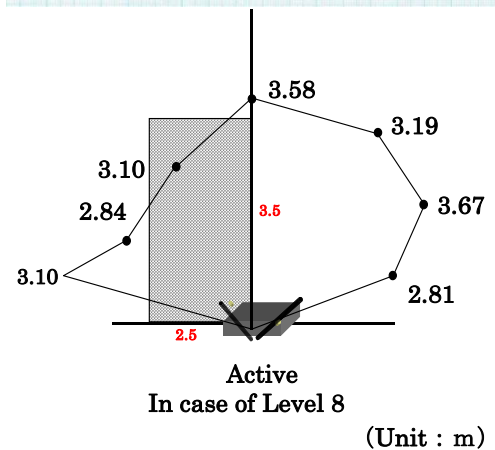
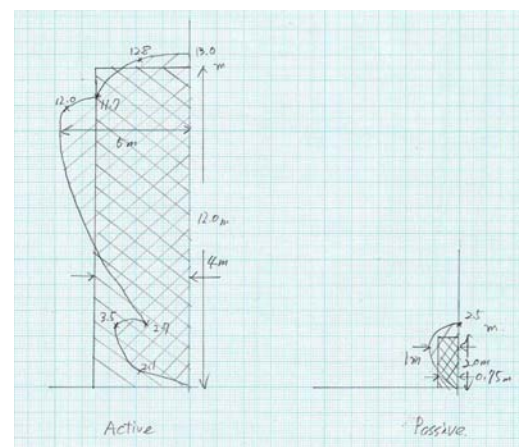


図 4-8 基本性能測定実験結果の一例

3. 本来の建設現場での ID 管理には最低でも 30～50 個

のタグが必要となるが、使用可能なタグが 2 個と少なかった。そのため、タグが複数存在した時の測定実験はできなかったが、今後こういった点も考慮に入れて、実験を行う必要があると考えられる。

4. Active & Passive 共に、建設現場においても自由空間の状況と変わらぬ結果を出した。よって、本システムを建設現場内に適用しても、十分使用可能だと考えられる。

3.4. RFID システムの評価

3 つの RFID システムを用いて、基礎的な性能を測定する実験を行った。その結果を纏めると以下のようになる。

表 4-10 各システムの実験結果比較表

		Alien Technology		NTT-AT
		915MHz System (Passive Type)	2450MHz System (Active Type)	304MHz System (Active Type)
性能面	公称交信可能ゾーン	3～5m	30～50m	10～20m
	実験結果	1.5～2m	12～13m	3～3.5m
金額面	タグの値段	10～50円	3,000～5,000円	5,000～8,000円
	システム全体(受信機含む)の値段	60～70万円	60～70万円	110万円
納期面	納期	1～2ヶ月	1～2ヶ月	1～2ヶ月

拡張面 データ処理方法 今後開発予定 今後開発予定 EXCELを用いたデータ管理システム有

注) タグの値段に関して、例：「Passive Type Tag の値段を 10～50 円」と表現した。これは発注個数、今後の需要等の変化により、随時変動するためこのように記してある。

RFID システムは、上述に挙げた 2 社以外にも存在することが予想されるが、時間の関係上、本研究においてはこの 3 つのシステムを利用して実験を行った。性能面、金額面、納期面、拡張面を考慮に入れた結果、最終的には Alien Technology 社製の 2450MHz System (Active Type)を採用することとした。その理由は、値段も手頃な上、性能面で他の二つより勝っていたことが最終的な採用へと繋がった。しかし公称では、最低でも 30m の範囲ならデータを検出可能とあったので、何故実験では所定の機能が保てなかったのか、今後検討する必要がある。理由は、金額面および

現場作業員の環境面にある。例えば 10×5mの面積で作業している人の生産性管理データを収集したい場合、Alien 社が出す Active Type の性能が公称どおりであれば、一個で十分対応可能である。しかも装置が一個で済むため、それほど作業環境を邪魔することはない。こういったことから、様々な角度からこの装置を検討することは必要なことである。

また、機器を購入する前に所要の機能をチェックするため、2 週間のレンタルをした。その期間内で実験するには限度があったため、購入後は所見で挙げたような視点から、より詳細に機器の性能を把握する必要がある。

追加：

最終的には、Alien Technology 社 (Active Type and Passive Type) と NTT-AT 社 (Active Type) の 2 社が提供する RFID システム (Radio Frequency Identification) に絞り込んだ。基本性能把握実験を通して二つのシステムを比較した結果、会社側からの公称では機能面に大差はなかったにも関わらず、実際に使用すると Alien Technology 社の方が NTT-AT 社を性能面で上まっていた。加えて、価格面でも Alien Technology 社の方が安かったため、初期投資の面からも前者の方がこちらの要求をほぼ満たしていた。翻って、収集したデータを必要な情報に変換するシステム—拡張面—に関しては、NTT-AT 社の方が既に装置と連動させてシステム化されていたが、この部分は著者を含む共同研究者で新規に開発して、対応することが可能と考えられた。よって、最終的には Alien Technology 社の RFID システムを導入することとした。

次に、この Alien Technology 社の RFID システムを用いて自由空間で実験を行った。理由は、RFID システムの性質に関係している。Tag 自体 (Active Type) 及び受信機 (Passive Type) から微弱電波を送信・受信して測定する技術なため、外的要因 (鉄, 人, 鋼材等) によってその性能が変化することが懸念された。そこで、事前に何の影響を受けない環境 (自由空間) で実験を行い、システムの基本的な性能を把握した。

自由空間において RFID システムの基本的な性能を把握した後、次に建設現場で適用し、どの程度このシステムが影響を受けるのか検討した。

最終的に建設現場にも適用可能となるが、問題は本装置で収集される生産性管理データだけでは、モニタリングしているエリアの作業員の個人作業活動—誰が、いつ、どこで、何をしている等—を特定することができない。そこで、CAD で作成される設計図面データと RFID システムで収集される生産性管理データをそれぞれ共通の DXF (Drawing Interchange Format) 形式で保存し、RFID システムにより得られる生産性管理データをプログラミング技術によって CAD データ画面に反映させ、作業員の位置等、個人作業活動を把握できるような技術を検討した。

無線タグ(RFID)システム <システムのイメージ図例>

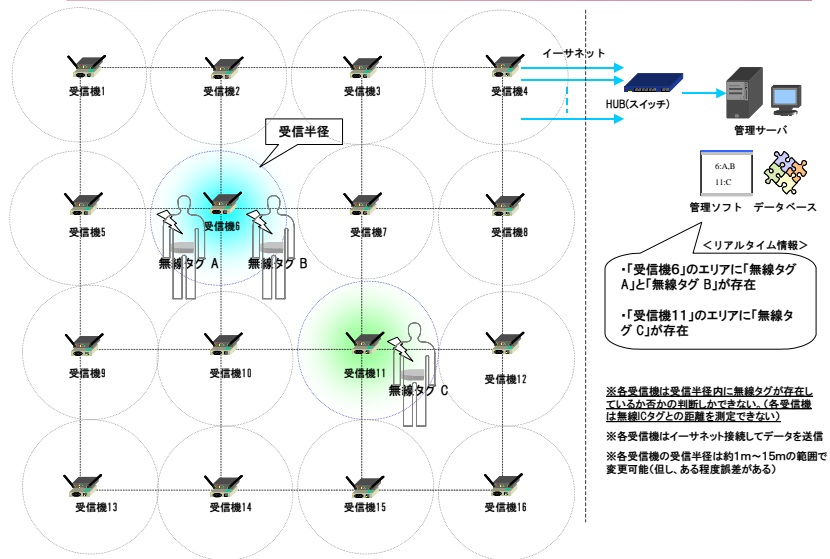


図 5-9 RFID システムのイメージ図

無線タグ(RFID)システム

<構成図1>

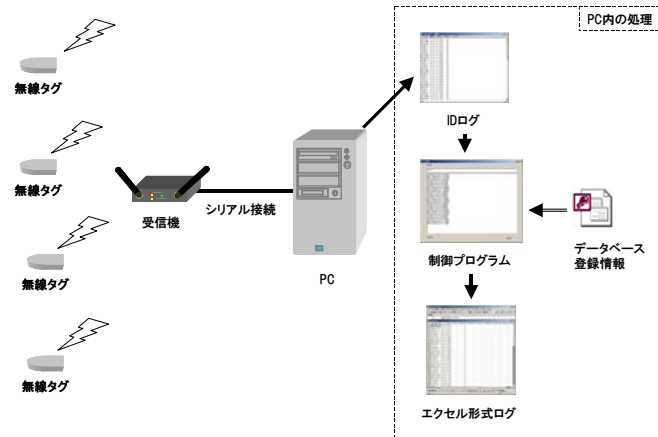


図 4-10 収集データ処理例 (拡張面)

3.5. 実現場適用可能性の検討

自由空間における測定結果と、建設現場内で行った実験結果では大差はなかった。この結果は、3つのRFIDシステムどれも同じ結果が得られたため、当初恐れていた外部からの影響(鉄筋、作業員等)はそれ程なかったといえる。

以上より、本システムを現場に適用しても安定したデータを収集できると考えられる。つまり、現場での適用可能性は十分高いと思われる。しかし、その前にRFID自体のシステムをより精度高いもの仕上げる事がこの研究を成功させる大きな鍵である。

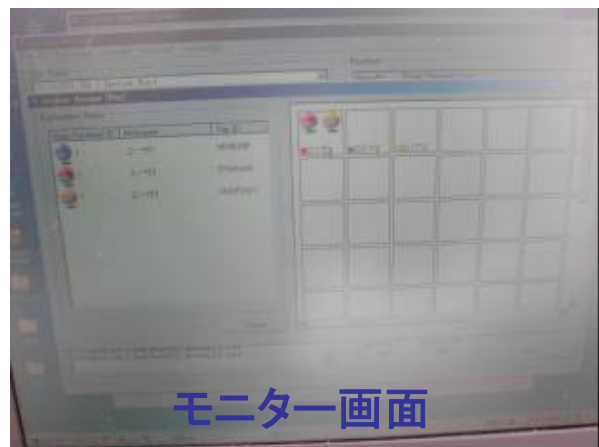


写真 4-9 建設現場内における実験風景

3.6. 課題の整理

諸実験を通して、精度の高い生産性管理データ収集・分析する技術の確立を成し遂げるには、以下の課題が明らかになった。

- (1) 生産性管理データ収集装置の機能向上への検討
- (2) 装置の値段（Tag, 受信機, ソフトウェア等を含む）
- (3) 測定サンプルが増えた場合（100個とか200個）, 十分機能するかの検討
- (4) 検出範囲内にIDを持った作業員が入ったときには反応するが, どのような状態で作業をしているのかを特定するまでには至っていない。

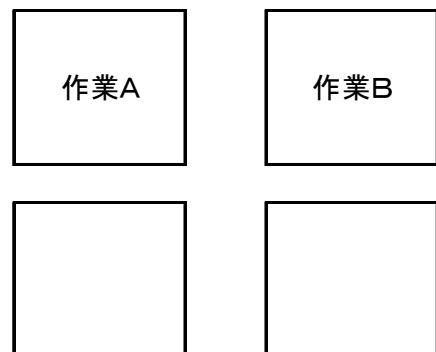
(1)、(2)、(3)に関しては、Alien Technology社との交渉、実際に実験を行うことで対応は可能だが、(4)に関しては、以下のような方策が考えられる。

3.6.1. Active タグを使った作業区分及び生産性分析区分の考え方

前提条件：広いヤード内に複数の受信局（基地局）があり、その間においてActiveタグを保持する作業員が自由に移動している状態で、各々の軌跡と作業内容及び生産性分析区分を追跡する方法

作業区分は右図の様に考える。その際、考えられる無線設備は下図のようになる。

作業場の数に応じ、各々に受信機（各々は約15メートル四方位か）し、センターに基地局を設置し、その間を無線LAN或いは有線で接続する。

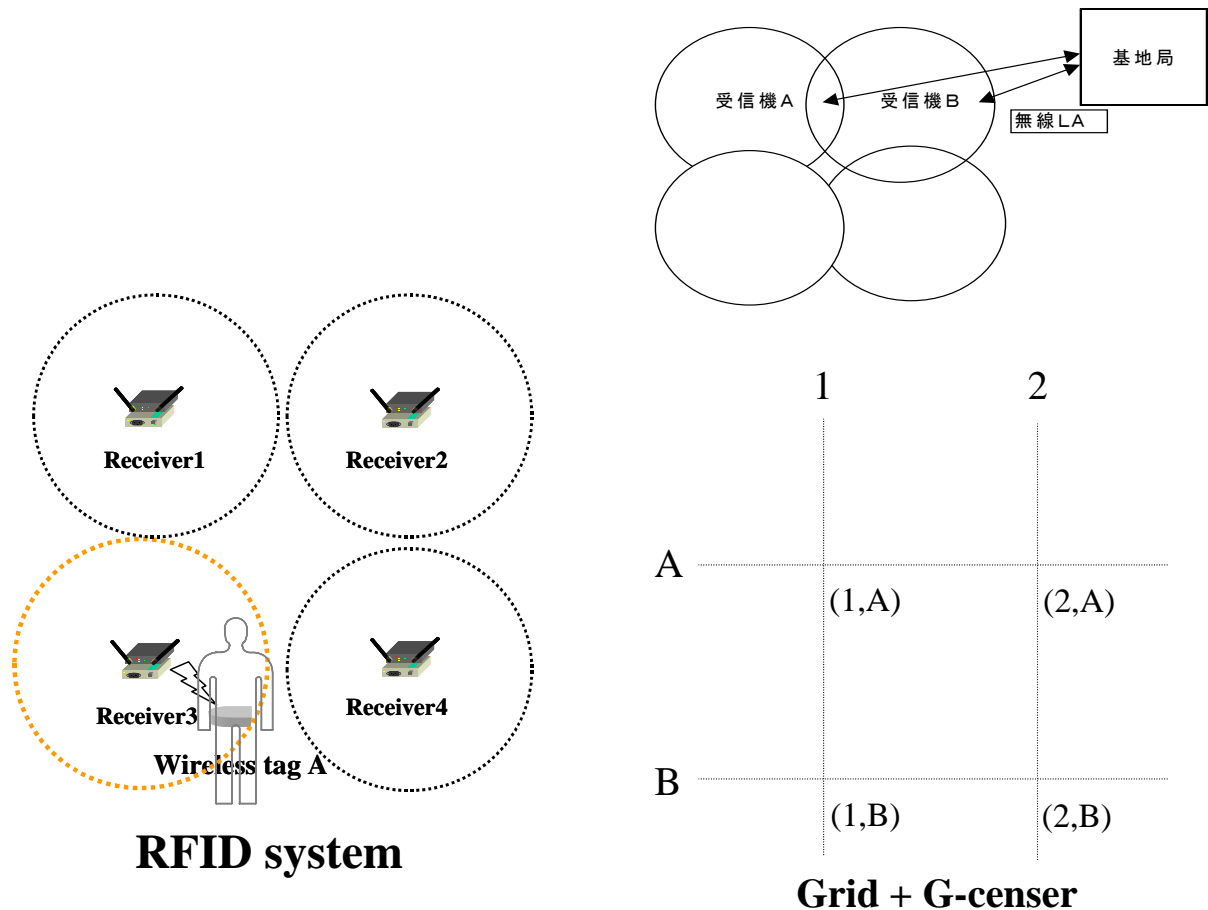


そこで、無線タグにGセンサーを付加し、その場所とセンサー情報から作業区分及び作業中と手待ち、或いは休憩等の生産性分析区分判定を行う。又、場所の重複部分の判定は単位時間当たりの受信回数にて判定する。

3.6.2. 今後の要確認事項

1. Gセンサー付きタグ

2. Gセンサーのデータと生産性分析区分の相関度
3. 位置データとGセンサーの組み合わせによる精度向上の可能性
4. 受信機と基地局との接続方法



このシステムの考え方は、二つの考えの組み合わせである。RFID システムで、ある範囲内における生産性管理データを検出する。その時は、まだある範囲内に ID を持った作業員が存在しているという情報だけしか分からない。しかし、この機能にグリッドおよび G-センサーの機能を組み合わせることにより、誰が・どこで・何をしているのか、という情報を取得できる。例えば、作業員 A がグリッドの (1, A) の場所にいたとする。もし、作業員 A が (1, A) から (1, B) に移動したら、二つの機能組み合わせにより特定することが可能である。また、G-センサーを用いることにより、具体的に作業員が何をしているのか判定できる。それには、休憩の時の波形、物を運んでいる時の波形といったような部分で判断できるのである。G-センサーは、振動や重力によって反応するため、その反応が波形となって現れてくるのを利用した考えである。

4. 生産性向上のためのデータ収集と蓄積

2.4.で述べたように、今回の研究では各作業員がどの作業にどの程度携わっていたかを把握し、生産性管理データとして蓄積する装置の揮発を目標としてシステム開発研究を行った。本来の生産性管理データとは、余分な作用活動や生産性に寄与していない作業員の動向を排除したものであり、各作業員がどのような状況で当該作業に携わっていたかを検出するシステムを備えていなければならないこととなる。装置の開発の前に、生産性と作業員の動作の関連を分析し、関連付けておかなければならないことになる。例えば、直接的に生産性に寄与する動作を行っていたか、作業箇所を変わるために移動していたか、材料や工具等を運んでいたか、図面や仕様書等を読む作業を行っていたか、作業を定位し休んでいたか等の、作業状況を予めカテゴライズしておくことである。この指針によって各作業員の作業実態を見分け整理することが可能となる。すなわち、作業構成要素区分と生産性分析区分の相関をシステムとして整理しておくということである。作業構成要素区分と生産性分析区分の相関を明らかにするため、筆者等が米国の否労働組合を用いたプロジェクトで行なった生産性向上プロジェクトにて用いたワークサンプリング調査で用いたシステム活用することとした。以下その内容の概要について記すこととする。

4.1. ワークサンプリング調査技術

統計的分析による品質や生産性管理手法の先駆者といえる米国に於いては、生産性レベルの測定に関する多くの研究がなされている。ワークサンプリング調査法（Work Sampling Survey Method）は、主に製造工場の生産ライン等を対象として使用されているものであったが、建設プロジェクトに於いても最近広く活用されるようになってきている。

ワークサンプリング調査は、生産現場での非生産的な事象の発見を容易にし、しかもこれを定量的に把握することのできる技術である。その方法は、生産現場を瞬間静止の画面状態として見つけ、作業に携わる各労働者の動作や建設機械の運行を観察し、これを一定の間隔で継続して行うものである。この方法により、各職種、各作業エリア、各時間帯、あるいはプロジェクト全体と言った様々な形での統計的信頼性を伴った生産性分析が可能となってくる。

このワークサンプリング調査基準は、在籍した企業の生産性向上推進部門が、テキサス州立大学（University of Texas : Austin, Texas）の研究グループの指導の下に構築したものである。

(1) ワークサンプルの区分設定と定義付け

ワークサンプリングとは、言葉のとおり作業動作の状況をサンプル（標本）として捉え採集することであり、これを統計的に解析し生産性レベルの測定を行う。サンプリングの方法は一定の間隔で作業現場を写真に収めてゆくタイムラプス写真分析（Time Lapse Photography）によるものや、ビデオカメラを用いたもの等があるが、本稿で述べるワークサンプリング調査は、シンプル・ランダム・サンプリング（Simple Random Sampling）を用いたものである。この方法は特別な器具を必要とせず、建設プロジェクトのように日々作業の箇所や状況が変化するものには適したものといえる。ワークサンプリング調査はいずれの場合でも、その実施に先立ち、採集されたサンプルの分類のために作業動作（Activity）の区分と定義設定を行っておく必要がある。表 5.5.1. はその区分を示したものである。作業動作は、表に示すように、まず生産性の面から捉えて分けをおこなう。次に、これらを作業の構成要素の面から捉えて区分する。

a) 生産性分析区分と各項目の定義

作業動作を生産性分析の視点で区分した場合、以下の3因子に区分する

- ① 直接生産動作（Direct Work）：生産性に直接的に結びつく作業動作。
- ② 補助支援動作(Support)：生産性には直接結び付かないが、直接生産動作の補助・支援のための必要不可欠な動作。
- ③ 作業遅延動作（Delay）：直接生産動作や補助支援動作の進行を阻害し、遅滞させる動作。

表 4-1 作業動作の生産性分析区分と作業構成要素区分

生産性分析区分	作業構成要素区分
1) Direct Work （直接生産動作）	1.Direct Work （直接生産動作）
2) Support （補助支援動作）	2.Read Plans/Instruction （図面や指示の確認動作） 3.Travel （作業員自身の移動動作） 4.Transportation （資機材の運搬動作） 5.Tools/Materials （工具／材料の準備動作）
3) Delay （作業遅延動作）	6.Late Start/Early Quit （作業開始遅延／切上終了） 7.Waiting （待機） 8.Personal （個人的理由での作業遅延） 9.Break （定められた小休止・休憩）

b) 作業構成要素区分と各項目の内容定義

作業構成要素区分の内容は以下のようになる。

① 直接生産動作 (Direct Work)

- 工具、資材、機械等を用い工事の物理的な遂行に直接寄与する作業をおこなっている動作。
- ・肉体的な作業動作：スコップでの掘削，溶接作業，手ハンマー作業，鉄筋結束等の動作。
 - ・作業箇所にて作業をおこなっている間に工具や材料等を持ち上げたり，下ろしたりする動作。
 - ・作業場所での計測・測定をおこなう動作。
 - ・他の作業員が結束する鉄筋を支えているといった，材料や機械，工具等を持っている動作。
 - ・本設の資機材を正しい取り付けのための位置出，検査をおこなっている動作。
 - ・手袋，安全ベルト，ゴーグル等，作業遂行に不可欠な装着品の脱着をおこなっている動作。
 - ・直接的な生産作業としての工具や機械の清掃動作。
 - ・エリアの引き渡しや，コンクリート打設前等，作業完了時に行わねばならない清掃作業動作。
 - ・旋盤，クレーン，ブルドーザー等の建設機械を運転している動作。
 - ・クレーンへの合図，誘導等の動作。
 - ・配線や電線接合，機器据え付け等の動作。
 - ・運搬されてきた資機材を据付け等の前作業として取り扱っている動作。または，運搬や積降ろし作業が直接契約作業となっている場合の作業動作。
 - ・検査，測量，監督等を担当する者が任務遂行のためにそれらの業務おこなっている動作。

② 図面や指示の確認動作 (Read Plans/Instruction)

直接生産動作 (Direct Work) に着手する，あるいは継続するための指示伝達の授受，及び仕様書や図面等のチェックや確認の動作。

- ・図面をチェックし，作業内容を把握する動作。
- ・作業指示書を読み，作業内容を確認する動作。
- ・作業内容を確認するためメモを作成する動作。
- ・フォアマン，現場監督，検査担当者との1対1あるいはグループでの打合せ。

③ 作業員自身の移動動作 (Travel)

作業箇所から作業箇所へ資機材の運搬の目的ではなく，徒歩あるいは車両での人員の移動動作。

- ・フォアマン，現場監督や検査員との打合せのため，現状作業箇所からの移動。
- ・作業を終了し，新たな作業箇所への移動。
- ・その他の理由により空手での移動。

④ 資機材の運搬動作 (Transportation)

- ・作業の継続に必要な工具、資材、機械等を徒歩あるいは車両で運搬している動作。資材運搬専任労働者以外の者による運搬動作。
- ・仮置き場からの資機材の運搬動作。
- ・倉庫からの工具や小資材の運搬動作。

⑤ 工具／材料の準備動作 (Tools / Materials)

作業遂行に必要な工具、資材、機械の準備、および選定、収納等のための動作。

- ・溶接作業等の機器、小資材の準備動作。
- ・工具の取り出し、収納動作。
- ・施工機械のセッティング動作。
- ・資材整理、整頓のための動作。
- ・安全管理のための諸器具取り付け動作。

⑥ 作業開始遅延／切り上げ終了 (Late Start / Early Quit)

作業開始の遅延、定められた終了時間前の作業打ち切り等、実質的に作業停止状況にある動作。

⑦ 待機 (Waiting)

作業遂行に必要な指示・命令や工具、資材、機械の準備の遅れ、故障等による待機、他の業種の作業との競合、終了遅延、指示変更によって発生する待機動作。

- ・他のグループの作業の終了を待っている。
- ・資機材の到着を待っている。
- ・機械の修理完了を待っている。
- ・フォアマンやスーパーインテンドント等の指示を待っている。
- ・インスペクターの検査の終了を待っている。

⑧ 個人的理由での作業遅延 (Personal)

指示された以外の作業員の個人的理由での作業動作又は作業休止動作。

- ・決められた時間以外の小休止。暑さや疲労のために作業を休止している。
- ・水飲場やトイレ等へ行くための作業休止。
- ・特別な意味はなく、ただ作業休止している。
- ・作業員の個人的な目的の作業を行っている。

⑨ 定時間での小休止・休憩 (Break)

定められた時間での作業小休止・休憩。

(2) ワークサンプリングの方法と手順

作業の生産性レベル測定のためにおこなう、ワークサンプリング調査はシンプル・ランダム・サンプリング (Simple Random Sampling Survey) の手法を用いる。図 5.5.1. はその調査用紙と記入例を示したものである。調査方法と手順は以下に示す。

- ① ワークサンプリング調査員を選出する。各作業要素区分を把握させ、作業員の動作を速やかに分類できるよう訓練する。調査員は複数とし、測定の個人差を是正できるようにする。
- ② 調査結果が後の分析や改善活動に適用し易いよう、調査エリア区分、職種区分、1日の調査回数と時間帯（1時間程度の間隔）等を決定する。調査は2，3週間継続しておこなう。
- ③ 調査員は調査対象の作業エリアに入ると同時に、作業要素区分に従い各作業員の動作を即座（1，2分程度）に判別し、各ワークサンプルとして捉えた作業員の用紙に数を記入する。
- ④ 調査用紙に記されたワークサンプルの数値を、あらかじめ作成しておいたコンピュータープログラムにインプットする。
- ⑤ 調査期間内のサンプルの集計結果を分析する。

(3) ワークサンプリング調査の結果分析方法

コンピュータープログラムは以下のような出力帳票が得られるようにする。

- ① 調査員別の調査結果を示す出力帳票
- ② エリア別作業要素区分出力帳票
- ③ 職種別作業要素区分出力帳票

ワークサンプリング調査表 ; SIMPLE RANDOM SAMPLING SURVEY								
Craft Code		Date / /19		Day		Time ; Report by:		
No	Area Activity	001	002	003	004	005	006	Total
1	Direct Work	///	///	///	///	///	///	
2	Read Plan / Inst.	///	///	///				
3	Travel	///						
4	Transport	///						
5	Tool / Material.	///						
6	L.S. / E.Q	///						
7	Waiting	///						
8	Personal	///						
9	Break	///						
	Total							
Remarks :								

図 4-1. ワークサンプリング調査用紙とその記入例

- ④ 曜日別出力帳票
- ⑤ 作業時間帯別出力帳票. その他.

ワークサンプリング調査による生産性レベルの分析は以上のコンピューター出力帳票を用い、下記のような、様々な観点から解析してゆく。

- ① 全作業エリアの各作業要素項目の比率分布解析.
- ② 作業エリア別作業要素項目の比率分布の解析.
- ③ 職種別作業要素項目の比率分布の解析.
- ④ 曜日別作業要素項目の比率分布の解析.
- ⑤ 作業時間帯別作業要素項目の比率分布の解析.

分析手順は、生産性区分項目のうちの補助支援動作 (Support) と作業遅延動作 (Delay) に属する作業構成要素区分の動作項目の比率をいかに減少させるかであり、その方法を見出してゆく。

- ① 各作業エリアごとに作業構成要素区分にしたがいワークサンプルの分布率を算出すると共に、全作業エリアの平均値を算出する.
- ② 調査員別ワークサンプリング結果の出力帳票を用いて各調査員の調査精度を検証する. 偏りのある調査結果が見出された調査員については、再度ワークサンプルの判定方法の指導をおこなう.
- ③ 生産性区分の補助支援動作 (Support) と作業遅延動作 (Delay) に属する作業構成要素区分の動作項目で、平均値より高い比率のものを摘出し、その原因を追求する.

4.2. 高度情報技術を用いた生産性向上分析に必要なデータの収集

各作業員のヘルメットに装着した発信機に G センサー等を組み込み生産性向上分析レベルのデータ測定に関する研究は今回の研究では着手していない。G センサーの組み込みは 3 次元的にデータの収集・解析を行なうもので、上述のワークサンプリング調査と近い精度の生産性管理データの収集と分析が可能となってくる。しかしながら、肉眼でデータを収集する上述のワークサンプリング調査とは異なり、G センサー等の装置を装備することによって収集可能な作業状況データは、下図の網目の項目までと考えられる。この程度の精度の分析であっても相当の生産性向上分析に役立つデータとなると思われる。また、G センサーの精度を高め、各作業の特有な振動パターンを見出せば、さらに詳細な作業構成要素区分のデータも検出可能となると考えている。

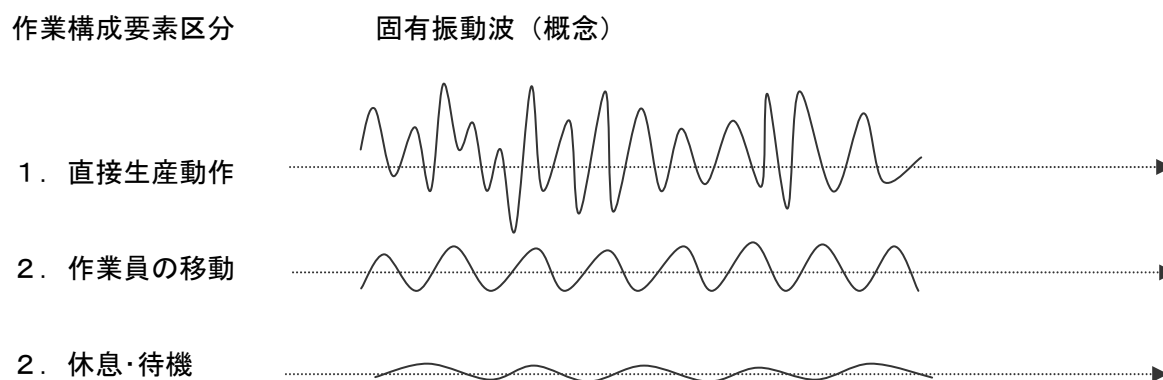


表 4-2 G センサーによる作業動作の生産性分析区分と作業構成要素区分の検出

生産性分析区分	作業構成要素区分
1) Direct Work （直接生産動作）	1. Direct Work （直接生産動作）
2) Support （補助支援動作）	2. Read Plans/Instruction （図面や指示の確認動作） 3. Travel （作業員自身の移動動作） 4. Transportation （資機材の運搬動作） 5. Tools/Materials （工具／材料の準備動作）
3) Delay （作業遅延動作）	6. Late Start/Early Quit （作業開始遅延／切上終了） 7. Waiting （待機） 8. Personal （個人的理由での作業遅延） 9. Break （定められた小休止・休憩）

5. おわりに

今回の研究では、比較的安価な市販の無線情報収集器機を用い、各作業員の位置を自動的に検出するシステムの構築を試みた。研究結果では、作業員の作業位置確認はかろうであることが判明した。時段階の研究としては、各作業員の位置を CAD 画面に表示した図面上に表すシステムの開発を試みている。このシステムが作成できると、ビジュアルに作業状況を捉えることができ、データの分析精度も格段に向上することになる。また、今回の実験の結果では、1 個あたり 3000 円程度の発信機で各作業員の位置を自動的に検出することが可能であるということがわかった。使用した無線情報収集器機は米国製のものであり、潜水艦内の乗員位置検索を目的として製造されたものであった。

研究を進め、生産性管理データの収集・分析という使用目的に合わせた無線情報収集器機の開発を行えば、測定の精度の向上、製造価格の縮減を可能にすることができると考えられる。新たな器機開発に関し、日本のメーカーに協力を得た結果、コスト縮減と精度の向上は十分可能であることがわかった。

本研究は、財団法人 日本建設情報総合センターの研究助成によって行なわれたものであり、そのご厚意に感謝する次第である。当研究グループは、現在も、この研究の成果をもとに更なる研究に取り組んでゆく計画である。

一参考文献・参考ホームページ

- ・五十嵐敬喜・小川明雄 「公共工事のウラもオモテもわかる」 東洋経済新聞社, 2002
- ・建設企業研究会編 「一すぐに役立つJ・V工事の現場実務」 鹿島出版会, 1996
- ・黒田充・田部勉・圓川隆夫・中根甚一郎 「生産管理」 朝倉書店, 1998
- ・荒井八太郎著 「一すぐに役立つ建設業の請負契約の知識」 鹿島出版会, 1995
- ・落合重紀著 「新・DXFリファレンスガイド」 日経CGBOOKS, 1997
- ・F・W・テラー著 「科学的管理法」 産能大学出版部刊, 1993
- ・財団法人建設物価調査会 「建設工事標準歩掛」, 2002 改訂
- ・財団法人建設物価調査会 「国土交通省土木工事積算基準 平成15年度版」, 2003
- ・社団法人土木学会 「土木用語大辞典」, 1999
- ・草柳俊二編著: 21世紀型建設産業の理論と実践 山海堂 2001.4

奥付 一助成研究者紹介一

草柳 俊二

学 歴：武蔵工業大学工学部土木工学科卒（1967）

職 歴：大成建設（株）国際事業本部本部次長

現 職：高知工科大学社会システム工学科長、高知工科大学社会システム研究センター長
教授（工学博士）、特別上級技術者（JSCE 認定）

主な著書：「21 世紀型建設産業の理論と実践－国際建設プロジェクトのマネジメント技術」
草柳俊二、（株）山海堂、2001 年

審査論文：

1) 「定量的分析を基盤とした国際建設プロジェクトの契約管理」

土木学会論文集 No. 609/VI-41, p. p. 87-98, 1998/12

2) 「我が国の建設産業構造改革に関する研究－二者構造から三者構造執行形態への移行－」

土木学会論文集 No. 714/VI-56, p. p. 221-232, 2002/9

口頭発表：

1) 「Work Standardization and Management System Suitable for International Construction
Projects Carried out by Japanese Contractors」

The 2nd Civil Engineering Conference in the Asia Region, Tokyo, 2001

2) Key Note 「Look Again the Mission of Civil Engineering and Civil Engineers in JAPAN」

Shunji KUSAYANAGI、The Sixth International Summer Symposium Organized by
International Activities Committee (JSCE), 2004/7

雑誌掲載：

1) 日刊建設工業新聞 2003/1/1（掲載）「公共工事の執行形態「三者構造」を語る」草柳俊二

2) CE 建設業界 Vol. 53 2004 年 8 月号、座談会「公共調達のあるり方を考える」草柳俊二

熊谷 靖彦

学 歴：大阪大学工学部電気工学科修士課程修了（1971）

職 歴：住友電工 USA 副社長

現 職：高知工科大学総合研究所地域 ITA 社会研究センター長、教授（学術博士）

主な著書：「車が変わる 交通が変わる－インフォ・モビリティ時代を拓く」

共著、自動車走行電子技術協会（編集）、日刊工業新聞社、1989/11

論文：

- 1) 「A Study of Introducing ITS to Developing Countries」
6th ITS World Congress, 1999, Toronto Canada
- 2) 「First Phase of VICS Development」 3rd ITS World Congress, 1996, Orlando USA

岡 宏一

学 歴：京都大学大学院工学研究科精密工学専攻終了（1981）

職 歴：東京大学助手

現 職：高知工科大学工学部知能機械システム工学科、教授（博士（工学））

論文：

- 1) 「A Miniaturized Levitation System with Motion Control Using a Piezoelectric Actuator」
IEEE Trans. On Control System Technology, Vol.10, No.5 (2002), p.p.666-670
- 2) 「Hanging-Type Mag-lev System with Permanent Magnet Motion Control」
Electrical Engineering in Japan, Vol.133, No.3 (2000), p.p.63-70

安里 哲平

現 職：株式会社 大成建設

高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース修士課程修了（2003/3）

口頭発表：

- 1) 「The Study on Reliable Productivity Data Measuring Method By Using IT Technology」
Teppei ASATO and Shunji KUSAYANAGI, THE NINTH EAST ASIA-PACIFIC CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION THE NINTH EAST ASIA-PACIFIC CONFERENCE PROCEEDINGS, EASEC9-303, 2003/12
- 2) 「The Study on Dumping Price Bidding and ITS Solution」 Teppei ASATO and Shunji KUSAYANAGI, International Symposium on Construction & Project Management, 2003/10
- 3) 「効率的な社会基盤整備に関する研究ーダンピング問題の実態と改善策に関する考察ー」
安里哲平、草柳俊二、土木学会第 58 回年次学術講演会、2003/9

安田 陽介

現 職：高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース
修士課程 1 年

五艘 隆志

現 職：高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース
博士課程 3 年

投 稿：「国際化へ向かう社会における建設技術者の役割」、五艘隆志・安里哲平
土木学会誌 2003 年 3 月号 Vol. 88, P81-84.

ニラウラ ラジェンドラ (Niraula RAJENDRA)

現 職：高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース
博士課程 2 年