

建設現場における先端情報技術を活用した生産性管理データ収集・分析システムの構築に関する研究

高知工科大学 五艘隆志*¹高知工科大学 越智淳*²高知工科大学 草柳俊二*³

By Takashi GOSO, Atsushi Ochi, and Shunji KUSAYANAGI

建設工事の生産性管理データの分析は、労働者、建設機械、そして建設材料の動向を一定の精度をもって把握し、蓄積することが基本となる。本研究では無線情報技術を用い、労働者の位置と動作をリアルタイムで把握し、労働者の生産性管理データを自動的に収集・分析するシステムの構築を行った。この技術の確立によって、科学的かつ精度と信頼性の高いデータ収集分析が可能となる。本システムの構築は、我が国の建設産業のプロジェクトマネジメントの基盤を“結果の管理”から“経過の管理”に移行させる第一歩である。

【キーワード】生産性管理データ，工事歩掛，ZigBee，加速度センサー

1. はじめに

建設プロジェクトにおける生産性管理データは、建設プロジェクトにおける品質、コスト、そして時間の総合管理の基盤であり、そのデータの収集・分析作業は、建設プロジェクトの遂行において極めて重要な意味を持っている。しかし、我が国の建設プロジェクトにおける生産性管理データの収集・分析は、未だ、現場の技術者達が個人データとして収集されたものを活用している状況にあり、信頼性においては高いものとは言い難い。国土交通省等の各発注機関が積算に用いている標準歩掛等も同様な精度のものといつてよい。

昨今、生産性管理データの収集・分析に関する必要性認識が薄れつつある。理由は“市場単価”を基にした積算の拡大が挙げられる。“市場単価”を基にした積算方法は主に建築プロジェクトで用いられてきた。土木構造物の工事でも、建設現場で把握した生産性管理データを基に各工事単価を算出するとい

った積算方法に加えて、“市場単価”を基盤とした積算方法も試行されるようになってきている。しかしながら、土木構造物の工事はそのつど施工条件が大きく異なり、精度の高い施工計画を行い、適正な工事単価の算出が必要となる。また、実証に基づく設計変更管理、生産性の向上活動などといった、本来の建設プロジェクトのマネジメント機能を考えると生産性管理データの収集・分析機能は必須条件となってくる。

生産性管理データの収集・分析は、労働者、建設機械、そして建設材料の動向を一定の精度をもって把握し、蓄積することが基本となる。こういった背景のもと本研究は2002年に着手され、無線情報技術を用い、第一段階として労働者の生産性管理データを自動的に収集・分析するシステムの構築を継続的に行なってきた¹⁾²⁾³⁾。2008年からは研究着手時よりも高度化した情報通信技術を導入し、データ収集と分析を自動化するシステムの構築を行っている。本論文はこれらの内容について述べるものである。

*1 社会システム工学教室 0887-57-2500 講師 博士 (工学)

*2 大学院基盤工学専攻 修士課程

*3 社会システム工学教室 教授 博士 (工学)

2. 建設産業における生産性管理データの収集・分析技術の現状

(1)建設産業における生産性管理データ収集・分析技術

ワークサンプリング等の生産性管理データの収集・分析技術は工場作業を主体とする工業経営の諸部門で発達¹⁾してきた。建設工事は種々の要因に影響を受けるため、その実態を把握することが非常に困難であること、また調査方法、調査精度の選択のための明確な定義も十分にされておらず必要以上の調査労力を費やすことも少なくない²⁾という指摘もなされている。このような工場作業と建設工事の特性の違いも背景となり、建設産業においては生産性管理データの収集・分析技術の導入および発達が遅れたものと考えられる。

それでも1980年代には米国でワークサンプリング手法が建設プロジェクトでも広く活用³⁾されるようになり、我が国でも建築分野では作業能率測定指針⁴⁾が示されている。これら文献4)、文献5)および文献6)で示されている手法はいずれも基本的な考え方は下記のとおり共通している。

- 調査員が作業員の作業動作を観察し、①生産に直接寄与する動作、②間接的に必要な動作、および③生産に寄与しない動作、などといった複数の区分に分類する
- 分類された各区分の所要時間割合を算出し、上記①以外の生産に直接寄与しない動作の割合が多い場合にはその原因を追求し、生産性向上の手段を講じる

こういった形で、ワークサンプリング手法を用いた生産性管理データの収集・分析技術そのものは建設産業においてもほぼ確立されているものと考えられる。

(2) 先端情報技術を活用した生産性管理データ収集・分析技術

しかしながら、文献 1)で「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」と指摘されているとおり、生産性管理データ収集・分析の技術を組織的に運用する段階で課題が残されているものと考

えられる。

個人的に収集・分析されたデータは組織に蓄積されることはない。また、個人データとしてではなく、組織的なデータ収集・分析を行うことで、データ収集・分析の精度向上と、生産性向上への組織的な取り組みが現実的なものになるものと考えられる。

生産性管理データの収集・分析と、その結果を踏まえた生産性向上活動を組織的に継続して行うための手段として、情報技術 (IT) の活用は以下の点で有効なものであると考えられる。

- データ収集を一定の間隔で行うことが可能
- 収集されたデータの精度が一定
- 収集されたデータは電子データであるため、分析を自動的に行うことが可能
- 調査労力の低減

1990年代以降のITの急速な進化をうけ、各産業ではITを活用する取り組みが数多くなされた。建設産業においても積極的にRFIDの活用が推進され、労働者、資材、工事車両等の入退場管理システムの構築事例等が紹介されている⁷⁾。

その一方で、先端情報技術を活用して生産性管理データの収集と分析を行うシステムは未だ確立されていない。本研究は、無線通信技術と加速度センサーを用いて、実際の工事現場で作業している労働者の位置情報を収集する技術 (位置情報取得システム) および労働者の作業状況を収集する技術 (作業情報把握システム) の確立を目指したものである。

3. 我が国の建設産業における生産性管理データの問題

(1)データ取得の実態と信頼性に関する問題

我が国の公共工事の積算に使用されている標準歩掛は、標準的な施工が行われた場合に必要となる労務量、資材の使用量、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。“標準的な値”の設定は、多くの施工現場で調査が実施され、調査結果の平均値を採用する方法がとられている。

例えば、国土交通省土木工事積算基準では標準歩掛の制定について下記の旨記述がなされている⁸⁾。

- 1年目：歩掛モニタリング結果や関連団体等からの意見等を参考とし、調査対象工種を決定

- 2 年目：各工種について100現場程度ずつ詳細な施工実態調査を実施
- 3 年目：収集したデータの解析及び歩掛の改正・制定

文献3)ではさらに文献8)の発行元である財団法人建設物価調査会（以下「調査会」と記載）に対する聞き取り調査を行い、1年目のモニタリングおよび2年目の施工実態調査の内容を下記の旨示している³⁾。

- 1 年目の歩掛モニタリング：建設機械について調査する。指定された様式に記載したデータを基に実態を把握する
- 2 年目の施工実態調査：作業員・建設機械・材料について調査する。指定された様式に使用工事資源の量を施工者が記載したデータを基に実態を把握する

つまり、我が国の標準歩掛を設定する際のデータ取得実態は、調査者が自ら現場に入って生産性管理データを収集・分析するのではなく、現場職員から施工実態を確認する形の調査をおこなっているということになる。

こういった実態に対し、聞き取り調査を受ける施工者側も現状では体系的な生産性管理データ取得システムを保有しておらず、得られたデータは回答者である現場職員の個人的活動に依存しているため、データの信頼性を担保することが難しいという指摘⁹⁾もある。標準歩掛の信頼性を高めるには、科学的手法による生産性管理データの収集・分析が必要となってくるものと考えられる。

(2) コスト管理・契約管理への活用に関する問題

文献6)では、建設プロジェクトのコスト管理・契約管理について下記のように述べている⁶⁾

- 建設プロジェクトのコスト管理はプロジェクトの遂行と伴に発生する各種コストを実収支面での把握、つまり経理・会計的に集計分析することと伴に、コストと生産性との関連を明確にイメージし、コストを時間経過の上でとらえ、その変動幅と、収束の方向を見通し分析してゆくことが求められる
- コストと生産性の関連分析とは、種々の条件変更によって生じる「各作業の生産性レベルの変動」を的確に把握し、プロジェクト完成に向け、管理目標として定めた予算との偏差

を分析してゆくことである。具体的には管理目標予算の構成基盤とした作業歩掛りの変化をモニターし、コストへのインパクトを定量的に捉えてゆくことである

- 契約管理の根幹は「契約条件変更によって発生する時間とコストの変動を定量的に分析すること」である

上述の用途を考えた場合、生産性管理データを一定の精度のもとで継続的に取得し、その変動をリアルタイムに把握し、時宜に応じて活用することが必要となる。なお、文献6)では、ワークサンプリングによって取得された労務・機械の各生産性管理データをコスト管理や契約管理に活用する方法が示されている。

4. 生産性管理データの収集・分析システムの構築

本研究で構築する生産性管理データ収集・分析システムは取得する歩掛の精度向上に加え、前述の様なコスト管理・契約管理への活用を意図したものである。本研究が最終的に目指すシステムの全体構成を図-1.に示す。

工事遂行資源には労務、建設機械、材料の三要素があるが、本研究では第一ステップとして“労務”に関する生産性管理データの収集・分析システムの構築を探究することとした。

図-1.の第二段目「Ⅰ. 労務・建設機械の作業状況把握」から最下段「精度の高い生産性管理データの把握」のフローは、文献4)、文献5)および文献6)等で示されているワークサンプリング手法と同じものである。本論文はこれを自動的に行うシステム構築に関するものであり、「Ⅱ. 出来高の把握」のプロ

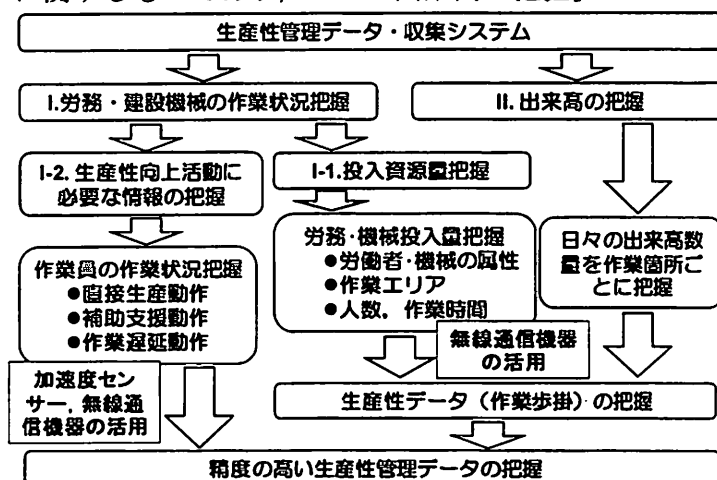


図-1. 生産性管理データ収集・分析システムの全体構成

表-1. 作業動作の生産性分析区分と作業構成要素区分⁶⁾

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

一に該当する範囲は本論文の対象外とする。

(1) 生産性向上を目的とした分析を行うために必要な作業動作の区分と定義設定

図-1. のシステム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。これにより、建設現場で取得した実質的データに基づく投入労働量が把握できる。こうして得られた投入労働量を産出量で除することで実質的データに基づく作業歩掛の算出が可能となる。

一方で、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作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。本研究では文献 6) に基づき、生産性と作業員の動作の関連を分析するために必要となる作業動作 (Activity) の区分と定義設定が行われた。作業員が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、作業を停止して休んでいたか、等の作業状況のカテゴリズである。表-1. はその区分を示したものである。

(2) 生産性管理データの収集・分析システムの概要

本研究では下記の方針による生産性管理データの収集・分析システムの構築を目指した¹⁾²⁾。

- 一単位の仕事量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
- 生産管理データの収集・分析は職種別（土工、葎、大工、鉄筋工等）、役職別（現場監督、職長、熟練工、一般工等、10 種程度）のデータまでとし、個々の労働者の生産性分析は行なわない
- 労働者一人一人に超軽量の発信装置を装着させ、

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管理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

図-2. は上述の方針に従って構築する生産性管理データ収集・分析システムにおける情報の流れを示すものである。データ収集と分析は下記の流れにて行うこととする。

- 作業員に装着された発信端末（発信者 ID 番号「発 01」）から発信された電波を建設工事現場内に設置した各受信アンテナ（受信アンテナ ID 番号「受 01」、「受 02」など）が受信
- 各受信アンテナが受信した①受信時刻、②発信者 ID 番号、③受信アンテナ番号 ④加速度情報の 4 要素をコンピュータ上で統合
- 各時刻における作業員の位置を画面表示
- 「時刻」「位置」「加速度」に加えて、事前に入力された各作業員の「属性（職種・役職）」を統合
- 自動的に各作業員の作業状況を判別し、生産性分析を実施

上述のシステムの構築に必要な事項は下記のとおりであり、本研究にて開発を行った。

- 発信端末および受信アンテナの開発
- 発信端末の接続情報を位置情報として処理し、PC 画面上で表示するシステムの開発
- 位置情報と加速度情報を統合し、作業員の作業状況を自動判別するシステムの開発

(3) 投入資源量把握システムの構築

本研究では“労務”に関する生産性管理データの収集・分析システムの構築を目標としており、図-1. の「I-1. 投入資源量把握」は、労働者の属性、作業エリアおよび作業時間を把握することとなる。

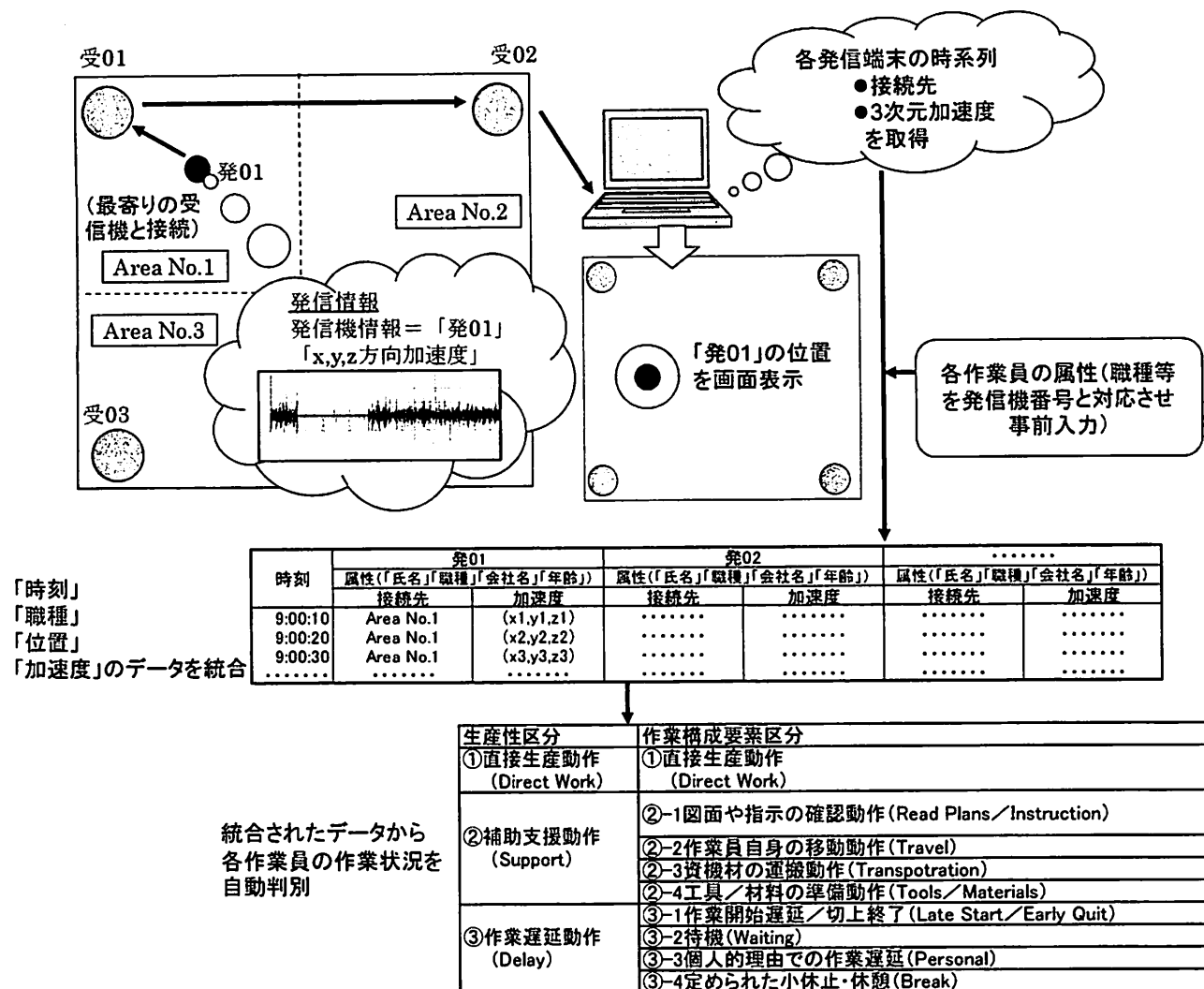


図-2. 本研究で構築する生産性管理データ収集・分析システムにおける情報の流れ

当初、本研究は GPS 電波の届かない室内や地下空間等でも活用できることを目指し、RFID を用いたシステム構築を推進していた¹⁾²⁾が、後述の問題が残されていた。

- 資機材等、通信の妨げになるものが多い建設現場空間における安定した通信
- 受信アンテナの小型化

これらの問題や、近年の IT 分野における技術開発状況も考慮し、本研究で構築する投入資源量把握システムは“ZigBee (Zig: ジグザグに動く、Bee: ミツバチの意味)”規格を採用した形のシステムとして再構築することとした。以下、その背景を述べる。

a) ZigBee の概要

同規格の管理団体である ZigBee Alliance による ZigBee の説明は下記のとおりである¹⁰⁾。

「近距離無線ネットワークの世界標準規格の一つであり、信頼性のある低消費電力・低コストの無線通信として 2001 年から ZigBee Alliance にて研究が進

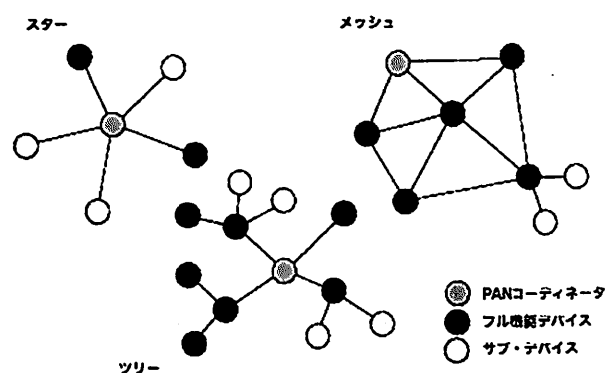


図-3. ZigBee がサポートするネットワーク構成¹⁰⁾

められていたものである。蜂のようにジグザグと中継点を変更しつつ無線通信を行えることがその名前の由来となっている。端末装置の通信量を抑えることにより、アルカリ単 3 電池 2 本で数ヶ月から 2 年間の稼動という性能を目指した新世代の近距離無線通信規格である。ZigBee は PAN (Personal Area Network) に分類され、図-3. に示すような多様なネットワーク構成をサポートするのが特長である。ま

た、通信速度は 250Kbps と Bluetooth (1Mbps 程度) や UWB (Ultra Wide Band: 数百 Mbps) 等に比べてやや劣るものの、低消費電力である点が大きな特長であり、低コストでの導入が可能のため様々な用途での活用が期待されている (一部筆者追記)」

本研究で構築する位置情報取得システムにおいて ZigBee を採用することとしたのは上述の多様なネットワーク構成の構築が可能であることと省電力性能、および端末が小型であることによるものである。

ZigBee 規格では端末間の通信電波の品質 (LQI: Link Quality Indicator) が計測され、端末同士のデータ中継は最も LQI の数値が大きい端末間で行われる。ZinBee 規格は近年国内外で普及が進んでおり、この機能を活用することで安価に作業員の位置取得システムが構築できるものと考えられる。

b) ZigBee を用いた位置情報取得システム

ZigBee ネットワークは以下 3 種類の端末から構成される。

- ZigBee Coordinator (ZC) : ネットワークの制御を行う端末機器。ネットワークに一つだけ存在する
- ZigBee Router (ZR) : データの中継機能を担う端末機器
- ZigBee End Device (ZED) : データの中継機能を持たない端末機器

これらの端末は先に述べた通り多様なネットワークを構成できる。図-4. は建設現場における労働者 (図中の Worker No.1) に ZED を装着した場合の接続

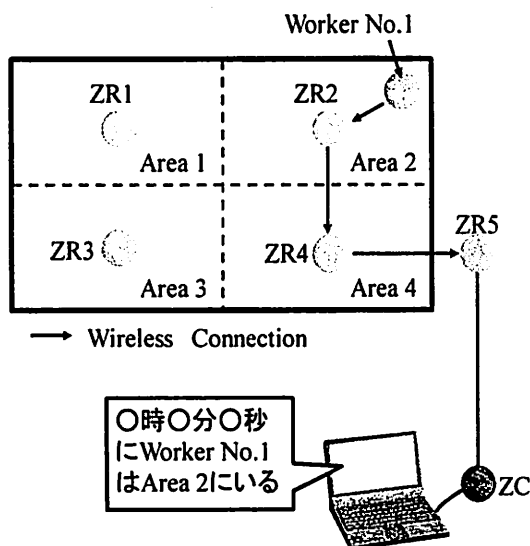


図-4. 一般的な接続状況 (近い端末と接続)

状況の例を示すものである。各端末は最も LQI の数値が大きい端末と自動的に接続を行う。この機能を活用することによって、作業員の位置を把握することができる。一方、図-5. は障害物等があるために最短経路での通信ができない場合の例を示したものである。こういった場合も、障害物を迂回する位置にある ZR が通信電波を自動的に中継し、ネットワークを構築するため、障害物がない場合と同様に労働者の位置を把握することができる。つまり、障害物が多い現場においては現場状況に応じた位置に ZR を配置することで、正確な位置情報を把握することができるようになる。

また、RFID を活用した場合、アンテナとアクティブタグ間の最大通信距離が数十メートルであったのに対し、ZigBee の最大通信距離は約 100 メートルであることも有利な点である。広い工事現場においては中継装置である ZR を複数配置することでリレー通信を行い、データを収集することも可能である。

こういった特長に着目し、本研究における投入資源量把握システム (労働者の属性、作業エリアおよび作業時間を把握するシステム) の構築には ZigBee を活用することとした。

(4) 生産性向上活動のための労働者の作業状況把握システムの構築

図-1. の「1-2. 生産性向上活動に必要な情報の把握」のためには、労働者の作業情報を把握することが必要となる。作業情報の把握については、加速度データ、労働者の位置、作業時間および労働者属性

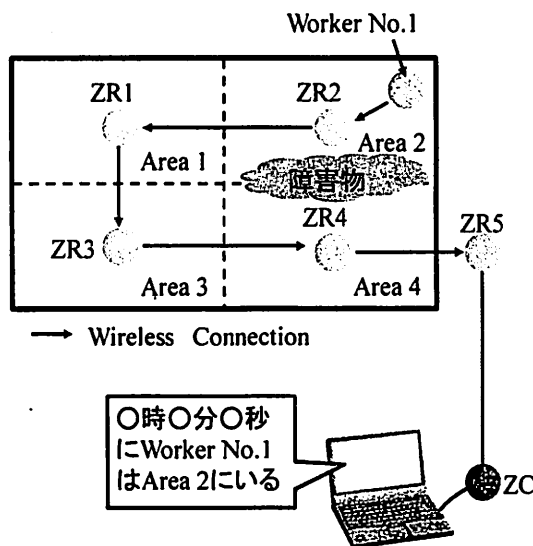
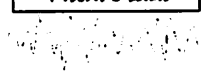
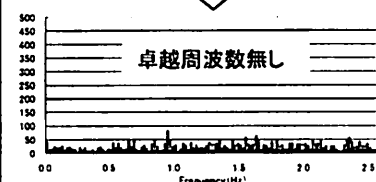
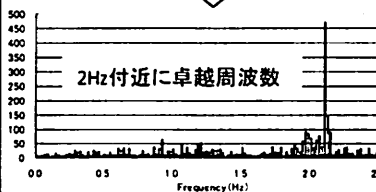
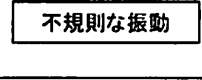
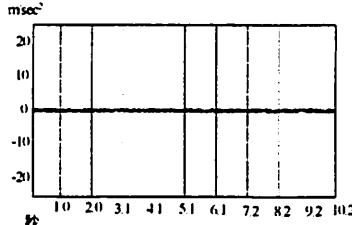


図-5. 障害物がある場合の迂回中継接続

生産性区分		作業構成要素区分	加速度センサー		ZigBee	
			振動パターン	加速度	位置	時刻
①直接生産動作(Direct Work)			不規則な振動 	平均: 1m/s ² 以上 または 最大: 2m/s ² 以上	作業場所 (現場内)	作業時間
②補助支援動作	②-1図面や指示の確認動作 (Read Plans / Instruction)	卓越周波数無し 	平均: 1m/s ² 未満 かつ 最大: 2m/s ² 未満			
	②-2作業員自身の移動動作 (Travel)	規則的な振動 	平均: 5m/s ² 未満			
	②-3資機材の運搬動作 (Transportation)	2Hz付近に卓越周波数 	平均: 5m/s ² 以上	作業時間		
	②-4工具・材料の準備動作 (Tools / Materials)	不規則な振動 	平均: 1m/s ² 以上 または 最大: 2m/s ² 以上		道具・資材置場	
③作業遅延動作	③-1作業開始遅延/切上終了 (Late Start / Early Quit)	振動が極小さい(ほぼゼロ) 		作業場所外 (事務所等)	作業時間 (休憩時間直前・直後)	
	③-2待機 (Waiting)			作業場所 (現場内)	作業時間	
	③-3個人的理由での作業遅延 (Personal)			作業場所外 (事務所、トイレ等)		
	③-4定められた小休止・休憩 (Break)			休憩時間		

作業場所か否かの判断基準は労働者属性ごとに設定

作業場所か否かの判断基準は労働者属性ごとに設定

図-6. 本研究で構築した生産性区分(作業構成要素区分)の判別基準プロトタイプ

から総合的に判断することになる。本研究では文献2)3)や大学構内における機器の動作確認実験結果等に基づき、プロトタイプとして図-6.の判別基準を整備した。

図-6.中の「振動パターン」における「不規則な振動」と「規則的な振動」の判別はフーリエ変換による卓越周波数の有無から行うこととした。図中に「不規則な振動」として挙げたフーリエ変換結果の棒グラフは足場工(1.直接生産動作)の例で、「規則的な振動」として挙げたフーリエ変換結果は歩行(2.2移動)の例を示している。歩行においては2Hz付近に明確な卓越周波数が見出される。これは人間の歩行が1秒に約2歩(即ち2Hz)であるためである

と考えられる。鉄筋等の資材を運搬する「2.3資機材の運搬動作」も同様の歩行によって行われると考え、2Hz付近に明確な卓越周波数が見出される場合は「2.2移動」または「2.3資機材の運搬動作」と解釈できる。

逆に、2Hz付近に明確な卓越周波数が見出されない場合は「1.直接生産動作」または「2.1図面や指示の確認動作」と解釈できることとなる。

また、図-6.中の「加速度」の各種しきい値については文献2)3)や大学構内における機器の動作確認実験結果等から設定したが、これらの判別基準や数値は今後繰り返し実施する現場でのデータ取得実験にて今後調整してゆく。

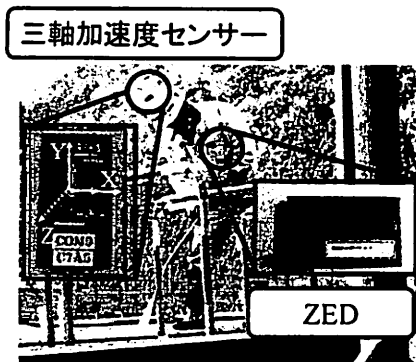


図-7. 労働者への機器装着状況



図-8. 橋梁上部工の現場全景とルータ（ZR）設置位置

また、作業内容によっては休憩時間が変則的な場合も考えられる。こういった場合は、作業員属性毎に固有の作業時間と休憩時間をあらかじめ設定しておくことになる。

5. 建設現場における生産性管理データの収集・分析システムのプロトタイプの実用性検証

前章にて述べた内容で構築した生産性管理データの収集・分析システムの実用性検証のため、建設現場における位置情報および加速度データの取得実験を行った。建設現場におけるデータ取得実験に際しては、労働者5名にZigBee端末と三軸加速度センサーを装着した（図-7.）。三軸加速度センサーが取得する加速度データは図-7. に示すX, Y, Z各軸方向の加速度であり、作業員が直立したときにZ軸が鉛直方向を向く様にセンサーを装着した。なお、今後はこれらの機器を一体化した端末を開発する予定である。また機器によるデータ取得と同時に、調査員が各労働者のワークサンプリングを行い、時系列の作業状況（時刻、位置、作業内容）を記録し、取得されたデータとの照合を行った。

実験を行った現場の条件は下記のとおりである。

実験日：平成22年3月11日（天候：晴れ）

実験場所：橋梁上部工工事（高知県西部 L=59.0m）

（主にコンクリート打設前の鉄筋確認や清掃等）

分析用PC、ZC設置位置：現場事務所（電源使用可）

データ取得時間：8:00～17:00

（加速度センサーのデータ取得間隔は0.2秒）

(1) ZigBee による位置情報取得システムの精度検証

a) 取得された位置情報の精度

図-8. はデータ取得実験を行った橋梁上部工の現

表-2. 作業員に装着した ZED が接続した各 ZR

への接続回数および集計

接続先	接続回数	接続先が最も近いルーターでなかった回数
ZR1	3	2
ZR2	46	29
ZR3	62	3
ZR4	73	13
Coordinator	34	1
全接続回数	218	48

接続先	接続回数	接続先が最も近いルーターでなかった回数
ZR1	4	1
ZR2	38	14
ZR3	34	5
ZR4	63	1
Coordinator	41	0
全接続回数	180	21

接続先	接続回数	接続先が最も近いルーターでなかった回数
ZR1	6	4
ZR2	57	26
ZR3	37	4
ZR4	85	0
Coordinator	30	0
全接続回数	215	34

接続先	接続回数	接続先が最も近いルーターでなかった回数
ZR1	25	0
ZR2	29	17
ZR3	45	0
ZR4	63	0
Coordinator	36	2
全接続回数	198	19

<全ルータとの接続>

全ZEDの接続回数	811 回
接続先が最も近いルーターでなかった回数	122 回
最も遠くないルーターへ接続した割合	15%

<ZR2を除いたルータとの接続>

全ZEDの接続回数	687 回
接続先が最も近いルーターでなかった回数	36 回
最も遠くないルーターへ接続した割合	5%

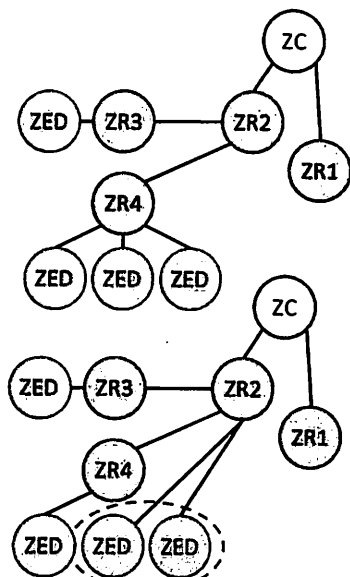


図-9. 正しい位置を取得した時の接続状況（上図）
と取得できなかった時の接続状況（下図）

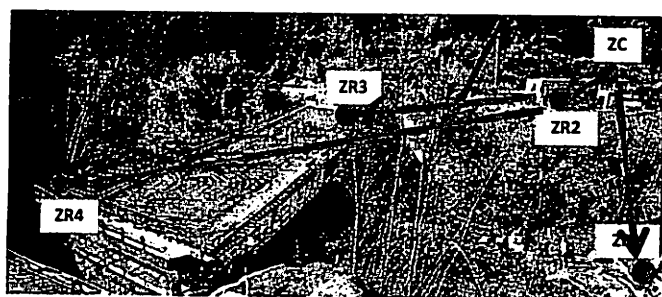


図-10. ルータ配置とルータ間接続

場全景とルータ（ZR）設置位置を示すものである。各ZRはバックハウによる作業を行っている河川側（ZR1）、道具置場（ZR2）および橋梁の両端部（ZR3, 4）に設置した。位置情報取得は下記のとおり実施した。

データ取得時間：8:00～17:00

データ取得方法：全てのZC, ZRおよびZED間の接続を確立後、手動にて接続を切断し、再度接続することを繰り返した。接続確立に1分程度を要し、概ね1分30秒から2分間隔で接続と切断を繰り返した。

接続状況の集計を表-2. に示す。なお、ZED2は故障が発生したため、結果集計には含まないこととした。各ZEDの全接続回数811回に対して、最も近いZRへ接続した割合が約15%との結果を得た。つまり、正しい位置を示す割合が85%であったことを示す。なお、注目すべきは各ZEDとも、本来接続すべきではないZR2と接続してしまうケースが多かったことである、具体的には、本来、図-9.（上図）のような

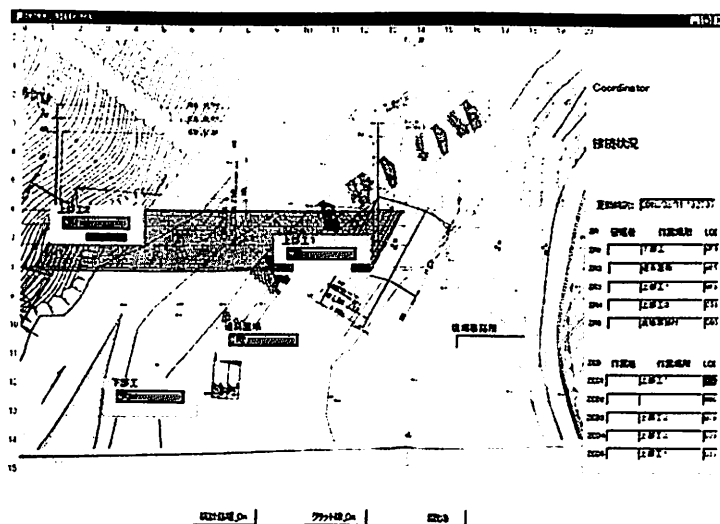


図-11. 新たに開発したZigBee装置管理ソフトウェアにおける労働者位置の表示画面

接続が得られるべき場合において、図-9.（下図）のような接続となってしまったケースが見られた。

b) 位置情報の精度向上策

この原因は、図-10. に示すようにZR2の設置位置がZCから現場内のZR3, ZR4への接続のための中継点に位置していたためと考えられる。本実験においては、時系列の位置データ取得のため、各ZED, ZR, ZCの接続確認後、一度全体の接続を切断し、再度ネットワークを構築するといった方式をとっていた。このため、ZinBeeネットワークの自動構築プロセスの際、ネットワークの上流側にあるZR2はその他のルータよりも早く認識されることとなる。本来接続すべきルータがネットワーク上に認識されるのが遅れた場合、各ZEDは本来接続すべきルータではなく、早く認識されたZR2と接続することとなる。

この問題は、時系列の位置データ取得のための定期的な接続切断の際、ネットワーク全体の接続を切断するのではなくZEDとZRの間の接続のみ切断することによって解決できる。具体的にはZEDに定期的（例えば1分間隔）にZEDの電源をOn-Offする装置を組み込む。これによってこの問題は解決でき、表-2. の「ZR2を除いたルータへの接続」として示した様に、最も近いルータに接続してしまう割合を5%程度まで減少させることができるものと考えられる。

c) 位置情報のリアルタイム把握

図-11. は本研究で開発したZigBee装置管理ソフトウェアにおける労働者位置の表示画面を示すものである。大きな赤色の帯はZRを示し、その下の小さな

赤色の帯はZEDを示している。図面を画像データとして取り込み、各ZRの設置位置をローカルな位置座標として入力し、各ZRと接続が成立しているZEDを表示するものである。こうして、作業員の位置をリアルタイムで現場事務所から把握できるようになった。

(2) 労働者の作業状況把握システムの実用性検証

図-12. は本データ取得実験にて取得された位置データ (ZigBeeより取得)、加速度データ (三軸加速度センサーのZ軸の加速度) および調査員の手作業によるワークサンプリング結果を重ね合わせたものの

一部である。これらを用いて先に提示した生産性区分判別基準プロトタイプ (図-6.) の実用性検証を行った。

なお、本実験結果における生産性区分の判別については、下記に示すような事項を総合的に勘案し、3分間隔で行うこととした。

- ZigBee の接続に要する時間を考慮した位置データの取得間隔が 1.5 分程度となる
- 本現場実験におけるトイレ等の小休止 (3.3 Personal) や、現場から作業所までの移動時間

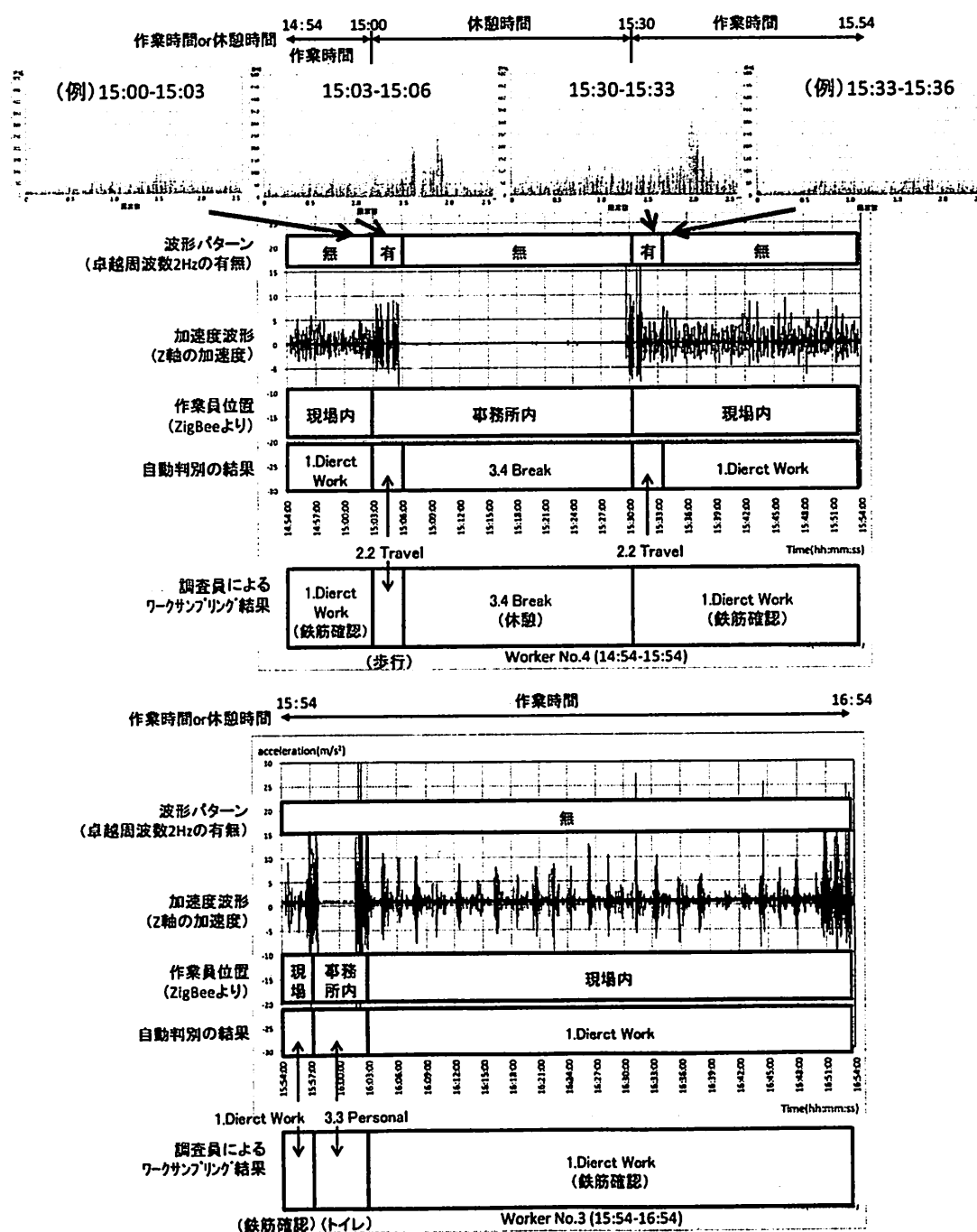


図-12. 取得された位置データ、加速度データとワークサンプリング結果の重ね合わせ

は3分程度であった

- ワークサンプリング間隔の検討事例（例えば参考文献11）をみると、1分、3分、5分といった間隔で検討している

この方針に従い、フーリエ変換を行う加速度波形の分割も、作業開始時刻（AM8:00）から3分間隔としている。

図-12. 上図をみると、調査員によるワークサンプリングの結果、“3. 4 Break”は15:06～15:30となっている。一方、同時刻の加速度はゼロで、位置データは事務所に居ることを示し、この時間帯は休憩時間として定められている。よって自動判別の結果も“3. 4 Break”となる。

また、14:57から15:00の時間帯は、調査員によるワークサンプリングの結果は“1. Direct Work”となっている。一方、同時刻の加速度はしきい値以上であり、波形は不規則で、位置データは現場内に居ることを示し、この時間帯は作業時間として定められている。よって自動判別の結果も“1. Direct Work”となる。

次いで、15:03から15:06の時間帯は、調査員によるワークサンプリングの結果は“2. 2. Travel”となっている。一方、同時刻の加速度はしきい値以上であり、波形2Hz付近に卓越周波数が見られる。よって自動判別の結果も“2. 2. Travel”となる。

15:30から15:33の時間帯は、調査員によるワークサンプリングの結果と自動判別の結果が異なっている。15:30に休憩を終えた後は現場へ向かって歩いてゆくことを考えると、自動判別によって得られた“2. 2. Travel”が正しいものと考えられる。

図-12. 下図をみると、調査員によるワークサンプリングの結果、“3. 3 Personal”は15:57～16:03となっている。このとき、作業員は事務所近くのトイレに行っている。一方、同時刻の加速度はほぼゼロで、位置データは事務所に居ることを示し、この時間帯は作業時間として定められている。よって自動判別の結果も“3. 3 Personal”となる。

同様に検証作業を行い、実験当日に作業状態そのものが発生しなかった作業構成要素区分を除く、

“2. 1 Read Plans/Instruction”，“2. 4 Tools / Materials”，“3. 1 Late Start / Early Quit”についても図-6. の生産性区分判別基準プロトタイプ

から判別できることが確認された。今後もデータ取得実験を繰り返し実施し、生産性区分判別基準の精度を高めてゆくこととする。

6. おわりに

本研究では建設現場への適用を考慮して、ZigBeeを用いた位置情報収集システム構築を試みた。このシステムには作業員の位置情報をリアルタイムに画面上に表示する機能を付加した。次いで、ZigBeeから得られる位置データと加速度センサーより得られた加速度データを統合し、図-6. に示した生産性区分を判別するシステムのプロトタイプを構築した。

こうして構築したシステムを現場にて運用したところ、一定の実用性を有していることが見出された。本研究は今後も継続して行ってゆく予定であり、下記のシステム構築を目指している。

- 生産性区分判別基準の精度向上のための建設現場における稼働実験・キャリブレーションの実施
- 生産性区分判別基準のプログラム化
- ZigBeeと加速度センサーを組み合わせた一体機器の開発。機器の小型化と価格の低減
- 出来高数量を把握できる機能を備えたCADシステムの開発（迅速な出来高把握システムの構築）
- 上記CADシステムと市販のプロジェクトマネジメント・システムの活用による、出来高・コスト・時間の連携管理システムの構築

こういったシステムの構築によって、これまで属人的手法によって収集・分析されていた生産性管理データを、科学的かつ精度と信頼性の高いものにできることとなると考える。

我が国の建設産業は“結果の管理”を基盤としており、プロジェクトの“遂行過程を外部に見せる”管理技術を具備するという意識が希薄な状態にあった。このことが我が国の建設産業の透明性を低いものとし、国民からの信頼を失わせる要因ともなっていたと考えられる。信頼性回復のためには“結果の管理”から“経過の管理”への移行が必要である。

本研究で試みた生産性管理データの収集・分析を科学的に行うシステムの構築は、我が国の建設産業

のプロジェクトマネジメントの基盤を“結果の管理”から“経過の管理”に移行させる第一歩であると考えている。

謝辞；本研究は財団法人日本建設情報総合センター、科研費（21760348）、および財団法人港湾空港建設技術サービスセンターの助成を受け、実施してきたものである。さらに、本研究の実施に不可欠な受発信端末とその運用ソフトウェア開発に際しては株式会社トアックに多大な協力を頂いた。

また、高知工科大学社会システム工学科の建設マネジメント研究室は、2002年度から生産性管理データ収集・分析システムに関する研究を継続して行ってきた。この研究には当時学生であった安里哲平（故人）、安田陽介、岡田茂の各氏が修士論文として取り組んでくれた。

本研究をまとめるにあたり、各位の協力と努力に改めて感謝の意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 高知工科大学 社会システム工学科 生産性技術研究会：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，（財）日本建設情報総合センター研究助成事業研究報告書，2004年9月
- 2) 草柳俊二：建設現場における高度情報処理技術（IT）を活用した生産性分析システムに関する研究，（財）日本建設情報総合センター研究助成事業研究報告書，2006年9月
- 3) 安田陽介：建設現場における高度情報処理技術（IT）を活用した生産性分析システムに関する研究，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論文，2006年3月
- 4) 日本建築学会 材料施工委員会 作業能率小委員会：作業能率測定指針(案)，建築雑誌 101 集第1251号，pp. 71-81，1986年10月
- 5) 堀籠誠司，神山幸弘ほか：枠組工法住宅建設工事の生産工学的研究，1990年度日本建築学会関東支部研究報告集，pp. 385-388，1990
- 6) 草柳俊二：国際建設プロジェクトの生産性向上プログラムに関する研究，土木学会論文集 No. 528/VI-29，pp. 143-154，1995年12月
- 7) 建設経済研究所：建設関連分野における IC タグの活用動向，MONTHLY（研究所だより）No. 222，pp. 2-17，2007年8月
- 8) 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
- 9) Shunji KUSAYANAGI, Yosuke YASUDA, et. al：A STUDY ON PRODUCTIVITY ANALYSIS SYSTEM FOR CONSTRUCTION PROJECTS BY USING INFORMATION TECHNOLOGY, The proceeding of 4th CECAR2007, Taipei
- 10) ZigBee Alliance ホームページ
<http://www.zigbee.org/>（2010.5.10 アクセス）
- 11) 神和雄：ワークサンプリングによる製材作業の観測，林業指導所月報 144号 1964年1月

Productivity Assessment and Improvement by using Information Technology

Takashi GOSO, Atsushi OCHI and Shunji KUSAYANAGI

Data collection with usage of workers, equipments and materials at a constant accuracy is essential for analysis of productivity assessment data in construction project. In this study we have built a system which can receive position and performance of workers instantaneously and automatically collects and analyzes a productivity data with utilizing wireless information technology. Establishing the system would be base for scientific data collection which has high accuracy and reliability and it is the first step in changing Japanese project management base in construction project from "Result Control" to "Process Control".