

機関番号：26402

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760348

研究課題名（和文） 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

研究課題名（英文） Development and improvement of labor productivity assessment system in construction site by using advanced information technology

研究代表者

五艘隆志（GOSO TAKASHI）

高知工科大学 工学部 准教授

研究者番号：60412441

研究成果の概要（和文）：本研究は無線情報技術を用い、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うものである。無線通信技術（ZigBee 規格）と三軸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および作業状況を自動的に収集し、これらの技術で得られたデータにもとづいて生産性分析を行うシステム（生産性管理データ収集・分析システム）を構築した。

研究成果の概要（英文）：Automated labor productivity assessment system by using wireless telecommunication technology was developed in this study. This system is composed by location data collection system and acceleration data collection system for labors in construction site. Productivity assignment system by using these data was developed in this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：建設マネジメント、プロジェクトマネジメント、行政経営
 科研費の分科・細目：土木工学、土木材料・施工・建設マネジメント
 キーワード：生産性管理データ、作業歩掛、ZigBee、加速度センサー

1. 研究開始当初の背景

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してきた。一方で、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ことから、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ている。

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が示されている。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。

しかしながら、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。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。

- 一定間隔のデータ収集
- 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。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。

2. 研究の目的

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。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。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）を確立し、これらの技術で得られたデータにもとづいて生産性分析を行うシステム（生産性管理データ収集・分析システム）を構築することを目指したものである。

3. 研究の方法

(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

本研究で構築する生産性管理データ収集・分析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。本研究では既往研究に基づき、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。

表-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(Transportation)
	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)

(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。

- 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
- 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）、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-1.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。

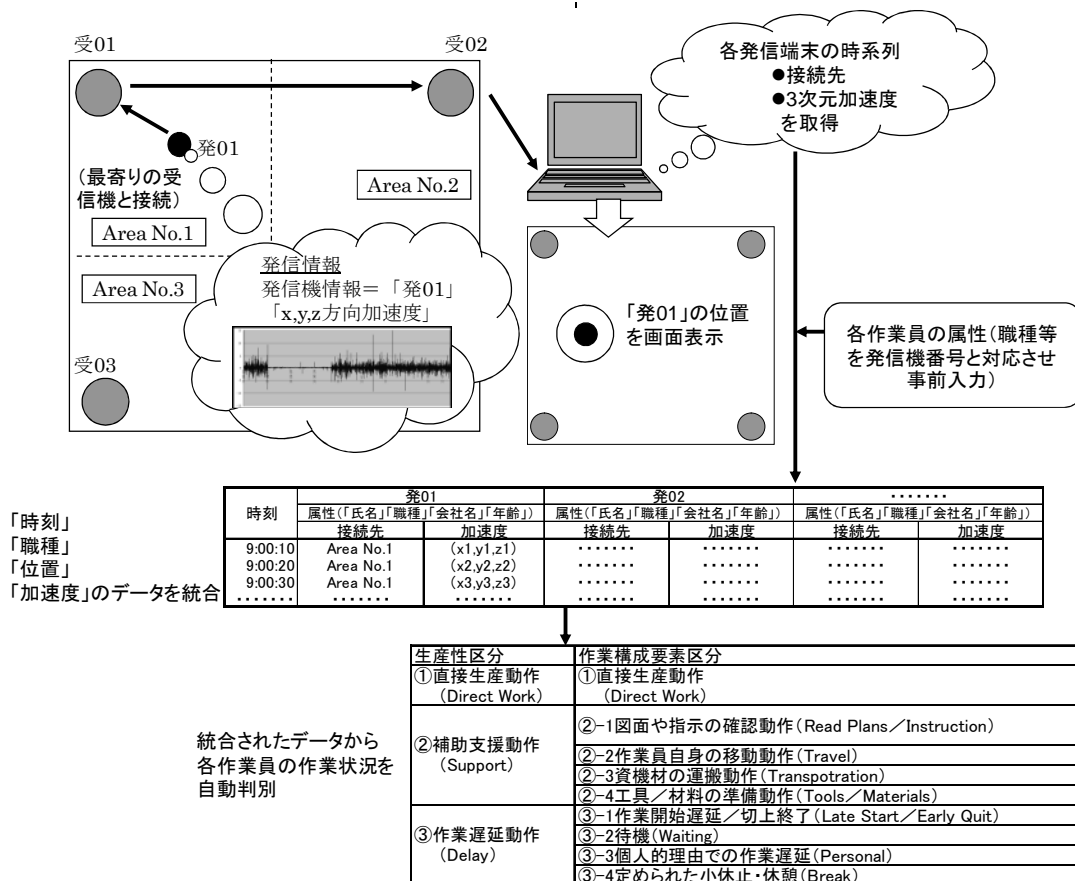


図-1. 本研究で構築する生産性管理データ収集・分析システムにおける情報の流れ

- 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、投入資源量把握のプロセスにおいては、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。

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。

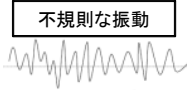
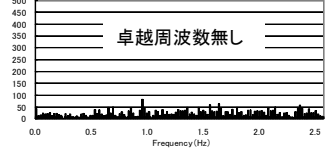
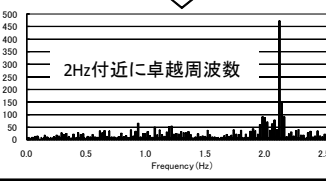
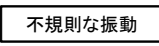
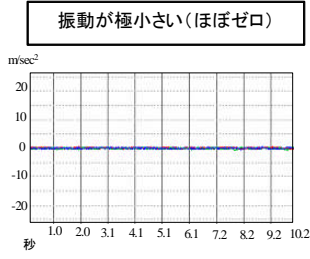
- 資機材等、通信の妨げになるものが多い建設現場空間における安定した通信
- 受信アンテナの小型化

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。

4. 研究成果

(1) 生産性管理データの分析システムのプロトタイプ構築

作業員の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から総合的に判断することになる。

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)	②-1 図面や指示の確認動作 (Read Plans / Instruction)	 <p>不規則な振動</p>	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
	②-2 作業員自身の移動動作 (Travel)	 <p>卓越周波数無し</p>	平均: 1m/s^2 未満 かつ 最大: 2m/s^2 未満		
	②-3 資機材の運搬動作 (Transportation)	 <p>2Hz付近に卓越周波数</p>	平均: 5m/s^2 以上	作業場所 (現場内)	作業時間
	②-4 工具・材料の準備動作 (Tools / Materials)	 <p>不規則な振動</p>	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)	 <p>振動が極小さい(ほぼゼロ)</p>		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)	作業時間
	③-4 定められた小休止・休憩 (Break)			作業場所外 (事務所、トイレ等)	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

図-2. 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

本研究では既往研究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-2.の判別基準を整備した。

図中の「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。

また、図中の「加速度」の各種閾値については、既往文献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繰り返し実施する現場でのデータ取得実験にて調整するものとした。

(2) 生産性管理データの収集機器の動作確認と分析システムの精度検証

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名に本研究にて開発した ZigBee 端末と三軸加速度センサーを装着した (図-3.)。

三軸加速度センサー

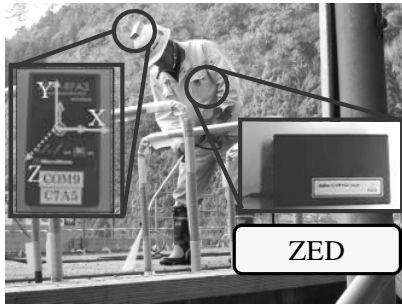


図-3. 労働者への機器装着状況

なお、本研究では建設現場における実用性検証と並行して、これらの機器を一体化した端末を別途開発した（詳細は後述）。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。

2009年度には、建設現場で取得されたデータの分析結果に対する検証を実施した。結果の一例を図-4.に示す。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、同時刻の加速度は閾値以上であり、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。

このように、2009年度の研究においては、ZigBee 端末と三軸加速度センサーから得られたデータを、図-2.の判別基準を用いて分析することによって生産性区分の判別が可能であることが確認された。

2010年度には、前年度の成果を踏まえ、下記の検討・開発を実施した。

- ① 生産性区分判別基準を用いた分析を自動的に行うプログラムの構築
- ② 2009年度から引き続き、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動実験・キャリブレーションを実施
- ③ 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

①については、作業員の動作加速度の卓越周波数の有無を判断するアルゴリズムの構

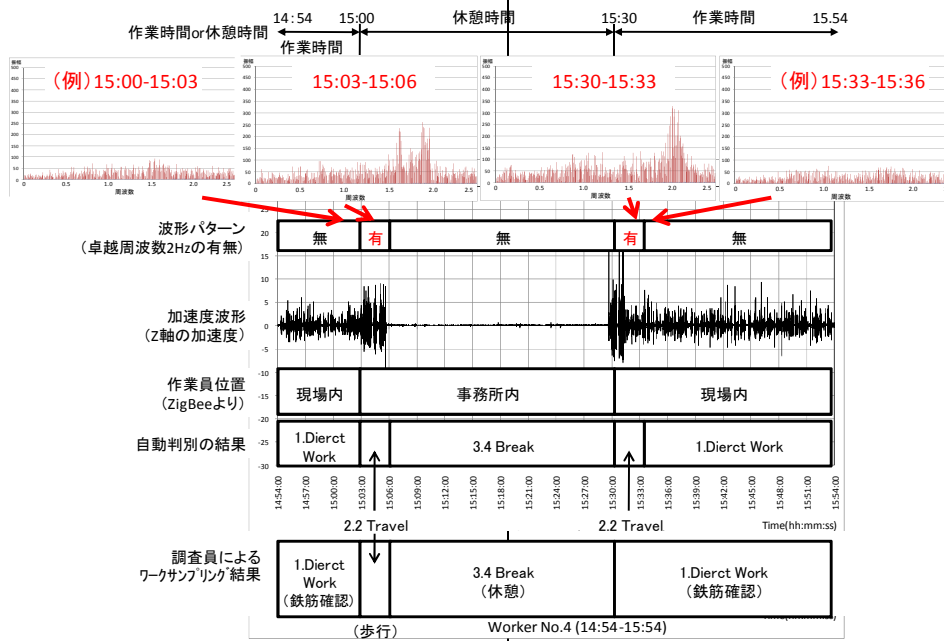


図-4. 取得された位置データ、加速度データと調査員によるワークサンプリング結果の重ね合わせ

築，各種生産性区分ごとの加速度の閾値設定，ワークサンプリングを行う間隔の設定を行った。次いで，これらを生産性区分の判別フローチャートとして整理し，MS-Excel 上で自動的に計算できるシステムを構築した。

②については，2009 年度から引き続き，建設現場における稼働実験を行い，卓越周波数の有無判断や，加速度の閾値の変更を行うことで，判別精度の向上を実現した（例：“1. Direct Work” の誤判別率を 46%から 12%へ低下させることができた）。今後も同様に，こういった現場における稼働実験と分析を繰り返すことで，判別精度の向上を図ることができることも明らかとなった。

③については，ZigBee と加速度センサーを組み合わせた新たな測定機器および運用ソフトウェアの開発を(株)トアックと共同で行った（図-5）。



図-5. 開発した計測機器

上述から本研究の成果を整理すると下記のとおりとなる。

- ① データ収集機器の開発
- ② 作業動作区分判別プログラムの作成
- ③ プログラムの精度向上プロセスの提示と実施
 - 現場におけるデータ取得とプログラムの精度確認
 - 精度向上の方策検討
 - 加速度情報に重点を置いたプログラムの変更と精度確認
 - 上記を繰り返し，精度向上を図る
- ④ 加速度データに着目したプログラム変更による判別精度の向上

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 草柳俊二，五艘隆志，建設マネジメント分野の可視化～プロジェクトの遂行過程を可視化する～，土木学会誌 2011.2 月号，査読無（編集者による執筆依頼により寄稿），Vol.96.No.2，2011，30-32
- ② 五艘隆志，越智淳，草柳俊二，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，土木学会論文集 F4(建設マネジメント) 特集号，査読有，Vol.66 No.1，2010，317-328

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 五艘隆志，越智淳，草柳俊二，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，第 28 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会（土木学会），2010.12.15

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五艘隆志（GOSO TAKASHI）

高知工科大学 工学部 准教授

研究者番号：6 0 4 1 2 4 4 1