

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

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に関する研究報告書

平成18年9月

高知工科大学 社会システム工学科

教授 草柳 俊二

目次

1. はじめに	1
2. 生産性分析に関する技術	2
2.1. ワークサンプリング調査技術	2
2.1.1. 生産性区分の定義	2
2.1.2. 作業構成要素区分の定義	3
2.2. 生産性向上策	4
3. 労働状況情報収集・分析システム	6
3.1. 労働者就労時間・位置情報把握システムの機能向上	6
3.1.1. 労働者就労情報把握システムの構築	6
3.2. 労働者就労情報把握システムの有効性の検証	9
3.2.1. 現場実験の概要及び結果	9
3.3. 労働状況情報収集・分析システムの構築	12
3.3.1. Gセンサーシステムの概要	12
3.3.2. 校内実験の概要及び結果	16
3.3.3. Gセンサーデータによる作業状況分析	25
3.3.4. 現場実験の概要及び結果	26
4. まとめ	30
参考文献	31

1. はじめに

建設プロジェクトにおける生産性データ（作業歩掛）は、作業の完成量と投入した労働力・機械・材料等の比率で表される。生産性データは、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不可欠なものであり、当該プロジェクトの管理だけでなく、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ことになる。生産性データはプロジェクトの最前線にいる技術者達によって収集・分析が行われてきた。

しかしながら、近年、生産性データの収集・分析機能の低下が懸念されるようになってきた。その背景には建設産業の分業化・専門化が挙げられる。同時に、多くの建設企業が下請企業と総価一式請負契約や市場単価ベースの契約を交わす方式を採用していることも原因として考えられる。最近、国土交通省が予定価格作成に市場価格に基づく積算方式（ユニットプライス型積算方式）の試行を発表した。プロジェクト予算を作成するといった目的ではこの方式はより効率的である。しかし、工程管理の妥当性、コスト管理の透明性、契約条件変更に伴う追加費用の策定といった問題を論理的に解決してゆくためには、生産性管理データは不可欠なものであることは変わらない。生産性管理は品質、コスト、そして時間の総合管理を意味するもので、そのデータの収集・分析という作業は、建設プロジェクトの遂行の根幹であり、本機能の低下・退化は建設技術そのものの空洞化を意味するということになる。我が国の実態に適合した生産性データの収集・分析システムの構築は今後の建設産業を考える上で必須条件とあってよい。

本研究では、労働力に関する生産性データの収集・分析手段として高度情報処理技術（IT）を用いて、労働者の位置と動向をリアルタイムで把握し、建設プロジェクトの生産性データ（作業歩掛）の収集と分析を行うシステムの構築を目指す。

この研究は、日本建設情報総合センター（JACIC）から資金支援を受け、2003年に高知工科大学が行った「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・分析に関する研究」が基盤となっている。先行研究では、高度情報処理技術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（位置情報把握システム）を探求した。本研究では次の段階として、労働者の位置情報だけではなく、作業状況を把握することを試みた。

2. 生産性分析に関する技術

建設プロジェクトにおける労働生産性の実態調査と分析は以下の2段階で考えられる。

第一段階：1単位の作業を完成させるために投入した労働力を把握する。

「どのような作業員が、どの作業エリアで何時間作業をしたか」

第二段階：投入した労働力の生産効率を把握する。

「どのような作業員が、どの作業エリアで、どのような就労状況で作業をしたか」

2003年度に行った研究は、第一段階の労働生産性データを収集・分析するシステム（位置情報把握システム）の構築に取り組んだものである。すなわち、1単位の作業を完成するために要した労働者数と労働時間数を、高度情報処理技術を用いて収集・分析を行うものであった。この研究では各職種の労働者の位置情報をリアルタイムで把握することにより、単位作業当たりにより要した労働者数と労働時間数を把握する方法を見出すことを試みた。第一段階の研究ではこれを可能にするツール「労働者就労時間・位置情報把握システム」を見出すことができた。本報告書は、第二段階の労働生産性の実態調査・分析に必要である、投入した労働力の生産効率を把握するシステム「労働者の就労情報把握システム」の構築に関する研究結果について記したものである。

2.1. ワークサンプリング調査技術

労働力の生産効率調査の方法論と調査結果分析の基盤としてワークサンプリング調査法（Work Sampling Survey Method）を用いることにする。ワークサンプリング調査は、米国を中心に1950年代から統計的生産性管理・向上を目的として製造業の工場生産ライン等で用いられてきたものである。具体的には、生産ラインにビデオカメラを設置し、作業に携わる労働者の動作を一定の間隔で観察するといった方法が用いられ、労働者の動向を統計的生産性分析するものである。米国では1970年代後半から、建設プロジェクトにおいても活用されるようになってきた。当研究グループのリーダーである草柳は1980年から1981年にかけて、米国でテキサス州立大学(University of Texas : Austin Texas)の研究グループの指導の下にワークサンプリング調査による生産性向上プログラムの構築に取り組んだ。本研究ではその研究方法を基盤として、高度情報処理技術を用いた生産性分析データの収集・分析方法を見出すこととした。

2.1.1. 生産性区分の定義

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。

直接生産動作（Direct Work）：生産性に直接結び付く作業動作

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・支援のために必要不可欠な動作

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、作業を遅滞

させる動作

2.1.2. 作業構成要素区分の定義

上述した「直接生産動作」「補助支援動作」「作業遅延動作」の作業要素構成区分の動作内容を以下に示す。

直接生産動作 (Direct Work): 工具, 資材, 機械等を用いて工事の物理的な遂行に直接寄与する作業を行っている動作。

- ・ スコップで掘削を行う, 又はハンマーで釘を打つ等の肉体的な作業動作
- ・ クレーンやブルドーザー等の建設機器を運転する動作

補助支援動作 (Support): 補助支援動作は, 以下に示す 4 項目である。

- 1 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する動作
 - ・ 図面をチェックし, 作業内容を把握する動作
 - ・ 作業内容を確認し, メモを作成する動作
- 2 労働者自身の移動動作 (Travel): 徒歩あるいは車両による作業箇所から作業箇所へ資機材運搬が目的ではない移動動作。
 - ・ ある作業箇所での作業を終了し, 新たな作業箇所への移動する動作
 - ・ 現場監督との打ち合わせ等のため, 作業箇所から別の場所への移動する動作
- 3 資機材の運搬動作 (Transportation)
 - ・ 鉄筋や木材などの資材を運ぶ動作
- 4 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, 及び収納等の動作
 - ・ 工具の取り出し, 又は収納等の動作
 - ・ 資材を整理・整頓する動作

作業遅延動作 (Delay): 作業遅延動作は, 以下に示す 4 項目である。

- 1 作業開始遅延/切上終了 (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態にある動作
- 2 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, 故障による待機, 他の作業との競合, 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が終了するのを待っている状態
 - ・ 資機材の到着を待っている状態
- 3 個人的理由での作業遅延 (Personal): 指示以外の労働者の個人的理由での作業動作又は作業休止動作
 - ・ 定められた時間以外の休憩

- ・ 水のみ場やトイレへ行くための作業休止
 - ・ ただ作業を休止している
- 4 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

上記で述べた ~ -4 の項目をまとめたものを表 2-1 に示す。同表で示した緑色, 黄色, 赤色は, それぞれ直接生産動作, 補助支援動作, 作業遅延動作を表している。

2.2. 生産性向上策

生産性向上の具体策としては, 「補助支援動作」と「作業遅延動作」に含まれる項目の作業動作を限りなく少なくすることである。下記に補助支援動作と作業遅延動作の項目を再掲する。

「補助支援動作」

- ・ 図面や指示の確認動作(Read Plans/ Instruction)
- ・ 労働者自身の移動動作(Travel)
- ・ 資機材の運搬動作(Transportation)
- ・ 工具/材料の準備動作(Tools/Materials)

「作業遅延動作」

- ・ 作業開始遅延/切上終了(Late Start/Early Quit)
- ・ 待機(Waiting)
- ・ 個人的理由での作業遅延(Personal)
- ・ 定められた小休止・休憩(Break)

上述した「補助支援動作」は「直接生産動作」を補助するものであり, 基本的には不可欠なものである。よって「補助支援動作」の過度な削減を行えば, 逆に生産性を低下させてしまう可能

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

(参考文献: 「21 世紀型建設産業の理論と実践」)

性がある。一方、「作業遅延動作」に含まれる項目は全て直接的に生産性の低下につながるものである。従って、「作業遅延動作」を削減することが、生産性向上につながることになる。しかしながら、この生産性区分に含まれる項目は労働者の勤勉性や倫理に関連するものであり、これらを削減することは人間の感情に係わることになる。ただし、「作業遅延動作」の「待機 (Waiting)」は労働者の勤勉性や倫理に関連する部分が少ないため、削減することが可能である。なぜならば、この動作項目の発生要因は以下のような状況が考えられるからである。

- ・ 労働者は工事指揮者からの指示を待っている
- ・ 労働者は監督官の検査が終了するのを待っている
- ・ 労働者は工具や材料の到着を待っている
- ・ 労働者は作業に必要な施工機械の到着を待っている
- ・ 労働者は作業エリアが確保できるのを待っている

上記で挙げた様に、「待機 (Waiting)」は労働者自身が作り出すというよりも外的な要因に因るものが多い。従って、「待機 (Waiting)」を削減させるためには、労働者が何を待っているのかを知ることである。待機する要因が特定できれば、その削減策を見出すことは困難なことではなくなる。

本研究では、労働者の生産効率を把握するために、労働状況情報収集・分析システムを見出し、生産性データだけでなく、生産性向上活動に必要なデータの収集・分析を試みる。方法論としては、第一段階の研究によって見出した各労働者の就労時間・位置情報把握システムと第二段階の研究によって見出した就労情報把握システム、G センサーシステムを用いる。これらのシステムにより、個々の労働者の動きを感知し、就労情報を把握することによって、上記 9 つの作業構成要素区分の動作種類を検出することが可能となる。具体的には、動作によって発生する固有の振動パターン (図 2-1 参照) を G センサー (加速度センサー) によって見出し、この 2 つの情報を組合すことによって、直接生産動作、補助支援動作、作業遅延動作を把握することを試みた。

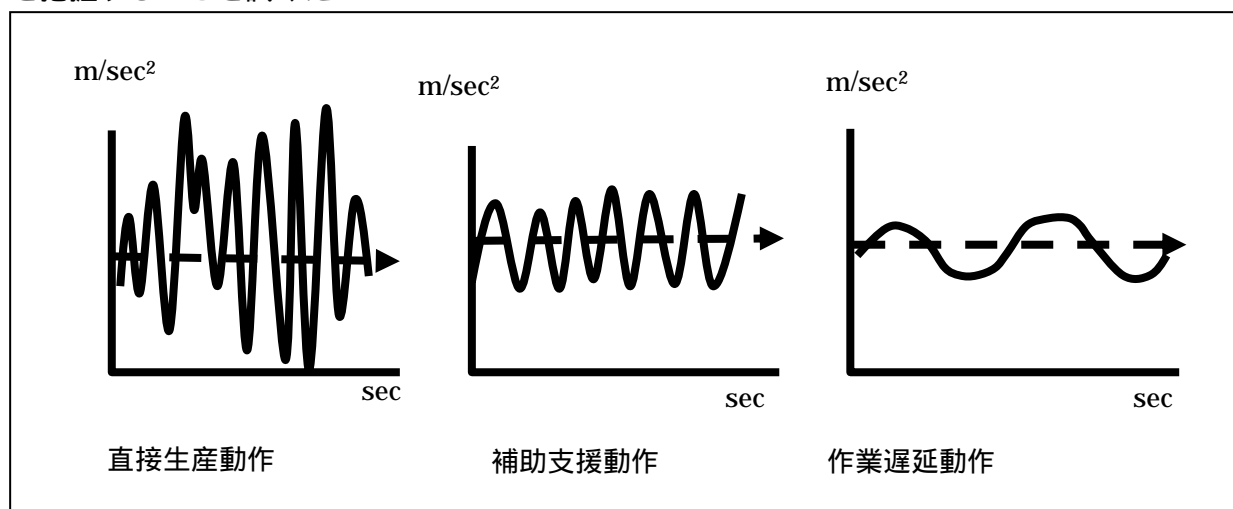


図 2-1 振動パターンの概念図

3. 労働状況情報収集・分析システム

3.1 労働者就労時間・位置情報把握システムの機能向上

仕事量の把握とは「誰が、いつ、どこにいたか」を知るものである。労働者の職種と位置情報は、「何人の作業員が、その仕事に従事しているのか」を知るデータとなる。第一段階の研究では、これを RFID (Radio Frequency Identification) システムを用いて行った。RFID システムとは、微弱無線を利用して、対象物の属性を識別するシステムである。第一段階の研究では、複数のアンテナと微弱電波を発生するアクティブ型 RFID TAG を用いて、労働者の属性 (ID 等) とエリア情報を把握し、データベース化するシステム (労働者就労時間・位置情報把握システム) を構築した。

しかしながら、第一段階の研究でのシステムでは「誰が、いつ、どこにいたか」の「誰が」を ID で表示するものであり、労働者の氏名・職種・所属会社名・年齢等の労働者情報は分からない状態であった。また「いつ」という時間は確認できるが、「そのエリアに何時間いたか」という作業時間を算出するのは困難であった。したがって、本研究では、労働者就労時間・位置情報把握システムを改良し、労働者情報を把握できるシステム (労働者の就労情報把握システム) へのバージョンアップを行った。

3.1.1 労働者就労情報把握システムの構築

2005 年 6 月 2 日に高知県大方町井の岬トンネルの建設工事現場にて行った位置情報把握システムの実証実験では、ID、受信時間、エリア情報のデータが取得でき、取得したデータはテキストファイルに保存される (図 3-1 参照)。この機能のままでは、ID、受信時間しか保存することができないため、別紙に記入した労働者の情報 (氏名、職種、会社名、年齢等) と取得したデータ (ID) を照らし合わせて、就労時間・位置情報の確認を行っていた。これでは、どの作業員が、どの時間に、どのエリアにいるかを確認するのに膨大な時間と手間がかかる。そこで、労働者就労情報把握システムの構築を行った。

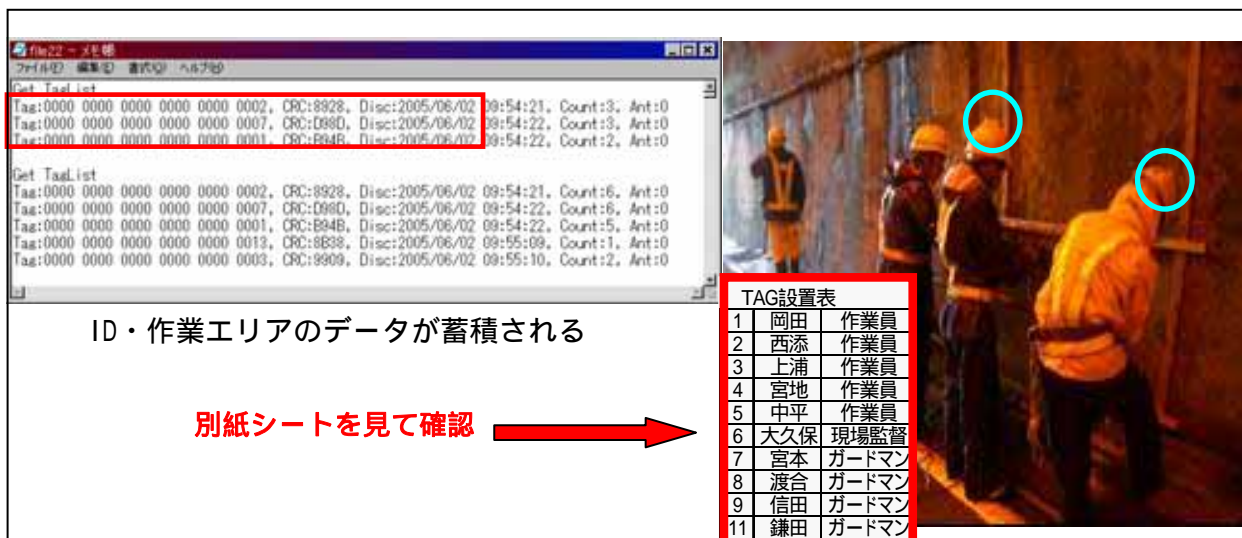


図 3-1 労働者の就労情報把握システムの開発前の状況

(1) 労働者就労情報把握システムの概要

労働者に装着させた発信装置 (RFID TAG) から発信される ID を「氏名, 職種, 会社名, 職能, 年齢」といった労働者情報に変換し, 表示・保存できるシステム (労働者就労情報把握システム) を構築した (図 3-2 参照)。

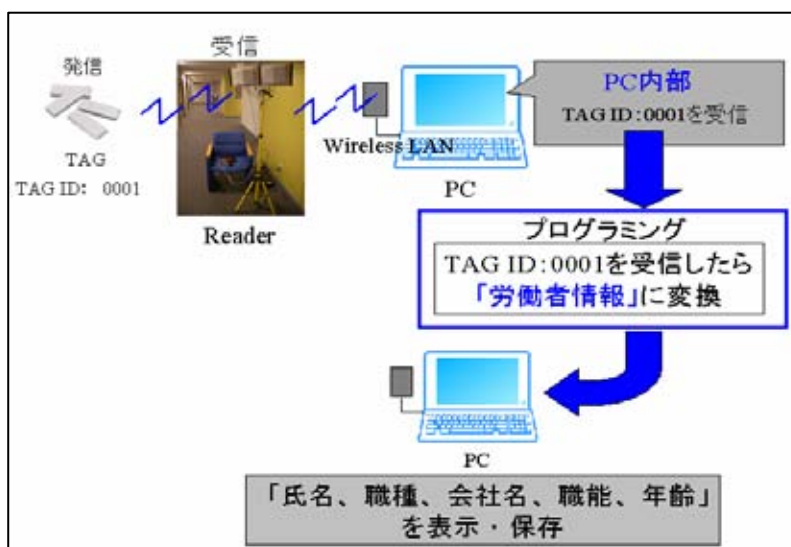


図 3-2 労働者就労情報把握システム概略図

システムの構築方法として, Perl (Practical Extraction and Report Language) 言語を用いて, 労働者データベースの設定, 及び労働者情報変換プログラムを作成した. 労働者データベース設定方法は, 各労働者に氏名, 職種, 所属会社名, 職務歴, 年齢, ID 等の労働者情報を入力する (図 3-3 参照). 労働者データベースを設定することにより, 発信装置 (RFID TAG) から発信される ID を「氏名, 職種, 会社名, 職能, 年齢」といった労働者情報に自動変換させ, データを保存できる. 図 3-4 は実際に行った設定画面 (テキストファイル) を, 図 3-5 は変換データの表示例を示したものである.

Tag:0000 0000 0000 0000 0000 0001=(氏名 A 職種 土工 会社名 X 職務層 5 年齢 30 ID 1)

Tag:0000 0000 0000 0000 0000 0002=(氏名 B 職種 普通 会社名 X 職務層 5 年齢 25 ID 2)

図 3-3 労働者データベース (氏名・職種・会社名・職務層・年齢等) の設定方法

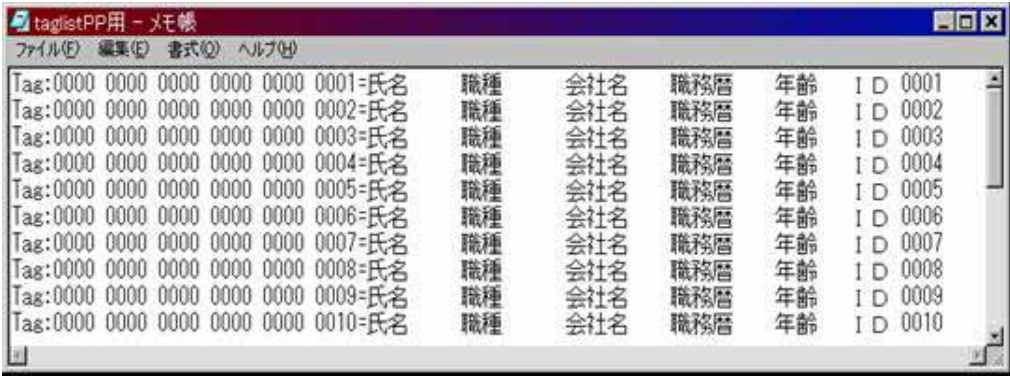


図 3-4 労働者データベースの設定画面

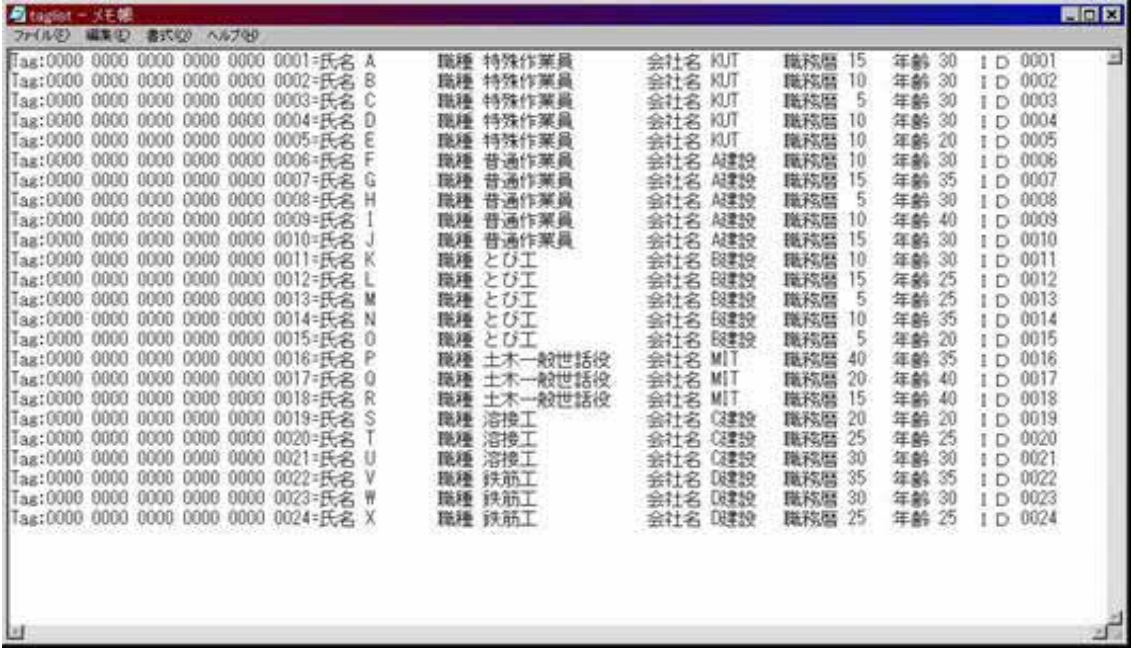


図 3-5 労働者データベースの変換データ表示画面

(2) 動作概要

労働者データベースの設定後に労働者情報変換プログラムを始動させると、アンテナが受信した ID を労働者情報に変換し、PC 画面上で労働者情報が表示される。これら表示された労働者情報は、テキストファイル又はエクセルファイルに保存することができる。保存場所はプログラムファイルが存在するフォルダ内に保存される。

3.2 就労情報把握システムの有効性の検証

建設工事現場における就労情報把握システムの有効性について実証実験を試みた。実験を行った建設現場は高知県大方町井の岬トンネルである。次項 3.2.1 で、実験概要及び結果について述べる。

3.2.1 現場実験の概要及び結果

(1) 実験概要

就労情報把握システムの有効性を検証をするため、高知県大方町にある井の岬トンネル（図 3-6 参照）の補修工事現場で実証実験を行った。

実験期間：2005年 9月 20日～22日の3日間（図 3-7 参照）

天候：晴れ

目的：就労情報把握システムの検証

実験機材：RFID システム一式（図 3-8 参照）



図 3-6 井の岬トンネル現場付近図

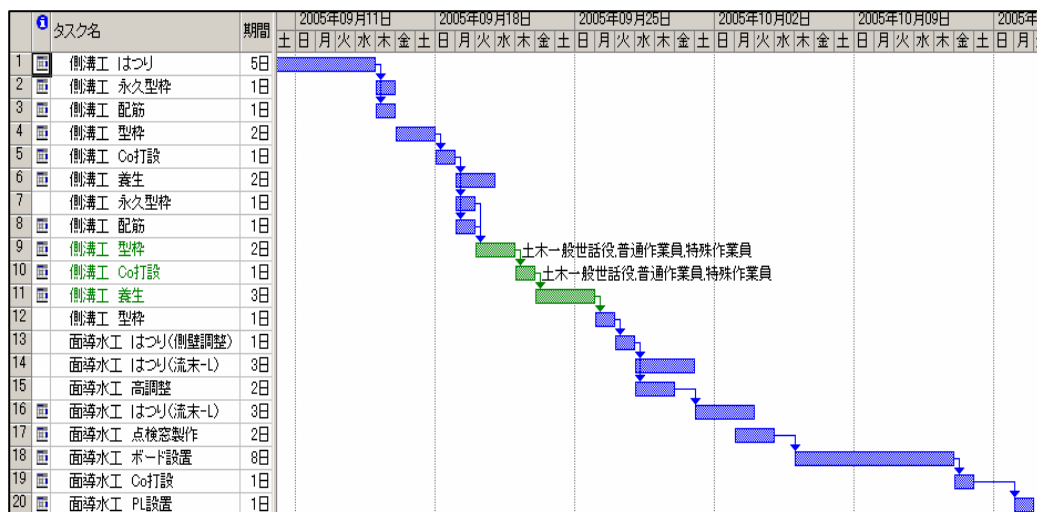


図 3-7 井の岬トンネル補修工事 工程表

(2) 実験方法

建設現場内に 3 台のアンテナを設置し（図 3-9 参照）、作業エリア A、B、C に区分し（図 3-10 参照）、生産性データの収集を行った。データ収集時間は、工事開始の午前 9 時（工事規制開始）



図 3-8 実験で使用した機材 RFID システム一式

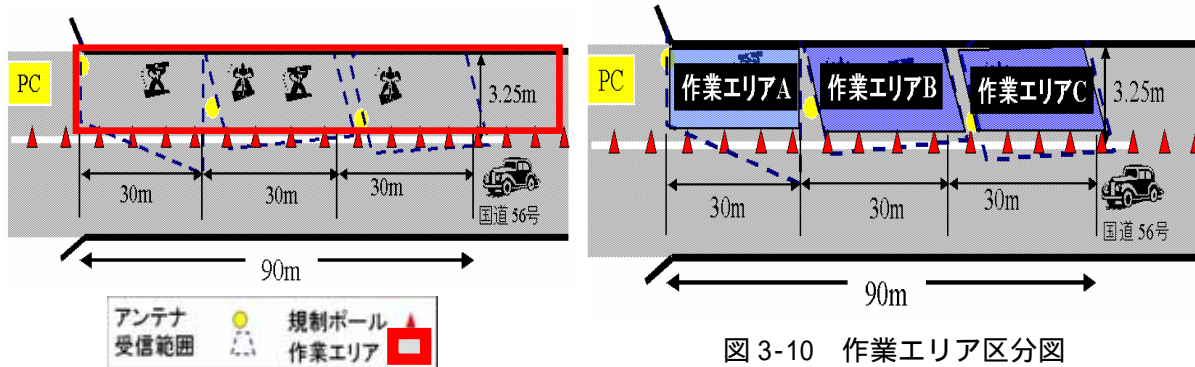


図 3-9 RFID 設置位置図

図 3-10 作業エリア区分図

から工事終了の午後 4 時（工事規制解除）までとした。写真 3-1 及び 3-2 は RFID システムの機材を設置した様子を、写真 3-3 はデータ収集実験の様子を示している。写真 3-4 は労働者が TAG を着けている様子を、写真 3-5 は労働者の作業の様子を示している。



写真 3-1 RFID の設置状況



写真 3-2 PC 基地局の写真



写真 3-3 建設現場でのデータ収集実験



写真 3-4 RFID TAG を装着し、作業を行う様子

(3) 実験結果

2005年9月22日に当該プロジェクトの作業エリアA、B、Cで歩道設置のコンクリート打設が行われた。就労情報把握システムを用いた測定では、労働者の各エリアにおける労働仕事量が把握できた（表3-1参照）。この取得データから生産性データを算出した結果が表3-2の左に示しているものであり、いわゆる工事歩掛を把握することが可能であることが確認された。なお、実験によって算出された歩掛は表3-2右に国土交通省標準歩掛を示してある歩掛と近似的値を示していた。以上の結果から建設現場で就労情報把握システムを用いて取得したデータを用いて一定の精度の生産性データを見出すことは可能であると考えられる。



写真 3-5 現場内写真

表 3-1 各労働者の労働仕事量（作業時間）

労働者名	職種名	会社名	年齢	職歴	作業時間(時間)			作業時間 累計
					作業 エリア A	作業 エリア B	作業 エリア C	
Mr. A	土木一般世話役	(有)井の岬環境センター	40	20	3	2	1	6
Mr. B	特殊作業員	(有)井の岬環境センター	45	45	2	2	2	6
Mr. C	特殊作業員	(有)井の岬環境センター	40	20	2	2	2	6
Mr. D	特殊作業員	(有)井の岬環境センター	40	20	2	2	2	6
Mr. E	特殊作業員	(有)井の岬環境センター	40	20	2	2	2	6
Mr. F	普通作業員	(有) サンヨーメンテック	60	40	1	2	3	6
Mr. G	普通作業員	(有) サンヨーメンテック	60	40	1	3	2	6
Mr. H	普通作業員	(有) サンヨーメンテック	45	25	1	3	2	6

表 3-2 就労情報把握システムによる測定結果と国土交通省土木工事積算基準歩掛の比較

小型構造物人力打設歩掛 (10m3当り)			小型構造物人力打設歩掛 (10m3当り)		
名称	単位	数量	名称	単位	数量
世話役	人	0.75	世話役	人	0.91
特殊作業員	人	3	特殊作業員	人	1.00
普通作業員	人	2.25	普通作業員	人	2.65
諸雑費率	%	0	諸雑費率	%	4

今回の現場実験で算出できた歩掛 国土交通省土木工事積算基準で定められている歩掛

3.3 労働状況情報収集・分析システムの構築

労働者の作業状況を把握するために、G センサーシステムを用いて、加速度の変化から労働者の作業を「直接生産動作」「補助支援動作」「作業遅延動作」に区分することが可能かどうか実験を行った。以下では、学内実験の結果と建設工事現場での実験結果を述べる。

3.3.1 G センサーシステムの概要

(1) 概要

G センサーは、物体に加わる加速度の大きさを感知するセンサーである。縦(Y軸)、横(X軸)、高さ(Z軸)の3方向の加速度を測定でき、3次元空間のあらゆる方向の加速度を測定できる。重力加速度を基準に物体の傾き角の算出や、各方向の加速度から物体の動きを割り出して、動作の種類を把握することが可能である。本研究ではマイクロストーン社製のGセンサー(無線モーションレコーダ)を用いた(写真3-6参照)。このセンサーはリアルタイム通信モードと内蔵メモリーモードの2つの機能を有する。



写真 3-6 G センサー

写真左：発信機 写真右：受信機

- リアルタイム通信モード：G センサー本体(発信機)がリアルタイ

ムで加速度データを受信機に送信し、加速度データを取得することができる。取得したデータはPCに保存される。

- ・ 内蔵メモリーモード：Gセンサー本体内で加速度を記録し、後にGセンサー本体（発信機）を受信機（アンテナ）に接続させデータの読み込みを行う。1つのアンテナで最大5台のGセンサー発信機の接続が可能で、4時間の加速度データを保存できる。

以下に、Gセンサーシステムの仕様を示す。

表 3-3 Gセンサーの仕様

項目	仕様	単位
検出範囲 ¹	±20 (±2) ~ ±500 (±50)	m/sec ² (G)
波形分解能	256	階調
測定周期 ²	1, 2, 5, 10, 50, 100, 200	mSec
メモリー時間	約4時間46分	-
単独モード・メモリー数	86400	測点
通信規格	2.4GHz (Bluetooth認定モジュール)	-
通信速度	115.2	kbps
通信距離	約20 (障害物なしの場合)	m
電源	単4アルカリ乾電池 × 2	本
電池寿命	300 (連続動作時)	min
動作温度	0 ~ 60	
サイズ	W58 × D105 × H18.5	mm
重量	90	g

(2) 機能概要

Gセンサーを検出させる場合の操作方法を以下に示す。

Gセンサーの検出

まずGセンサーをPCに検出させる。図3-11に示す様に「本体に接続」を選択しPCとGセンサーを接続する。接続後、内蔵メモリーモードか、リアルタイムモードの選択を行う。

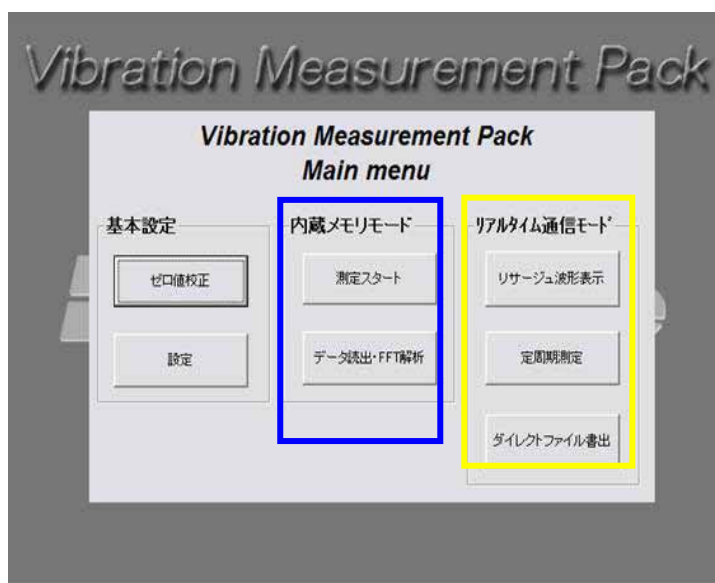


図 3-11 Gセンサーソフト(Vibration Measurement Pack)メニュー画

内蔵メモリーモードの概要

内蔵メモリーモードの場合は、図 3-12 で示す内蔵メモリーモード起動画面で、何時間測定するのか時間を設定する。加速度の測定後、再び PC と接続させ計測を行った加速度データを表示させる。図 3-13 は Y 軸，Y 軸，Z 軸の加速度を表示している。



図 3-12 内蔵メモリーモード起動画面

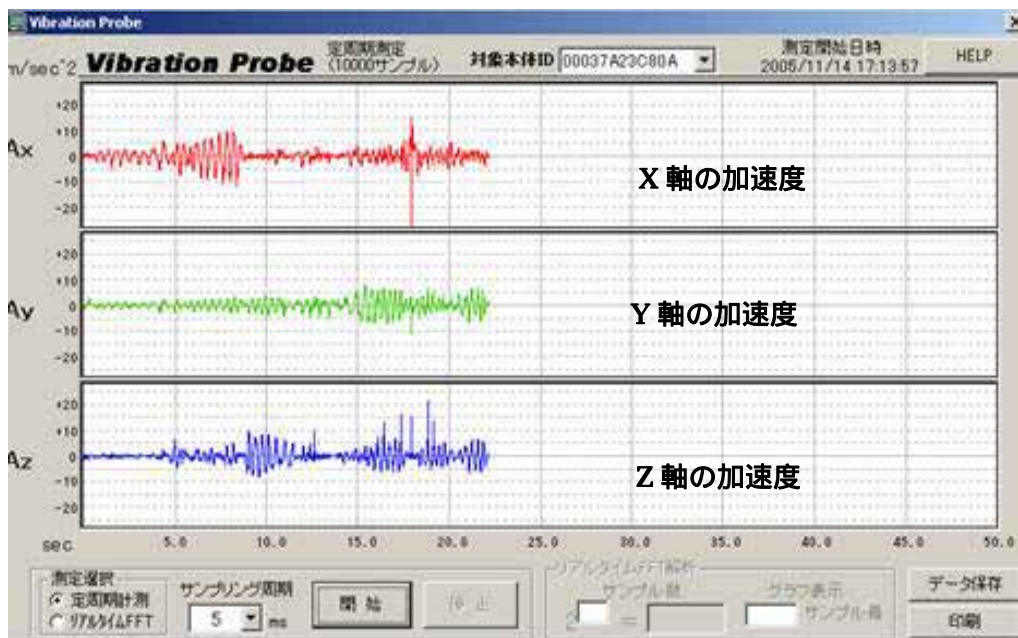


図 3-13 内蔵メモリーモードでの加速度データ表示画面

リアルタイム通信モードの概要

リアルタイム通信モードの場合は、1秒～100秒まで計測を行うことができる。リアルタイム通信モードで加速度の測定を行う場合、図3-14で示す様に、発信機を持つ人間は常にアンテナの受信範囲内にいなければならない。図3-15はリアルタイムモードでの加速度表示画面を示している。

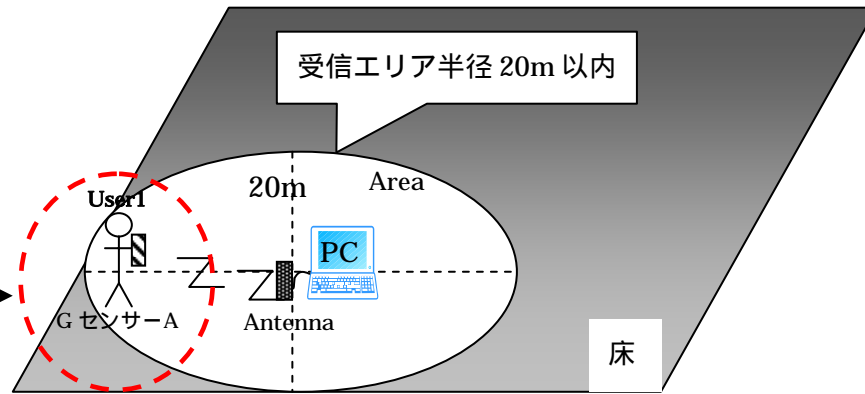


図3-14 リアルタイム通信モード構成図

Unit

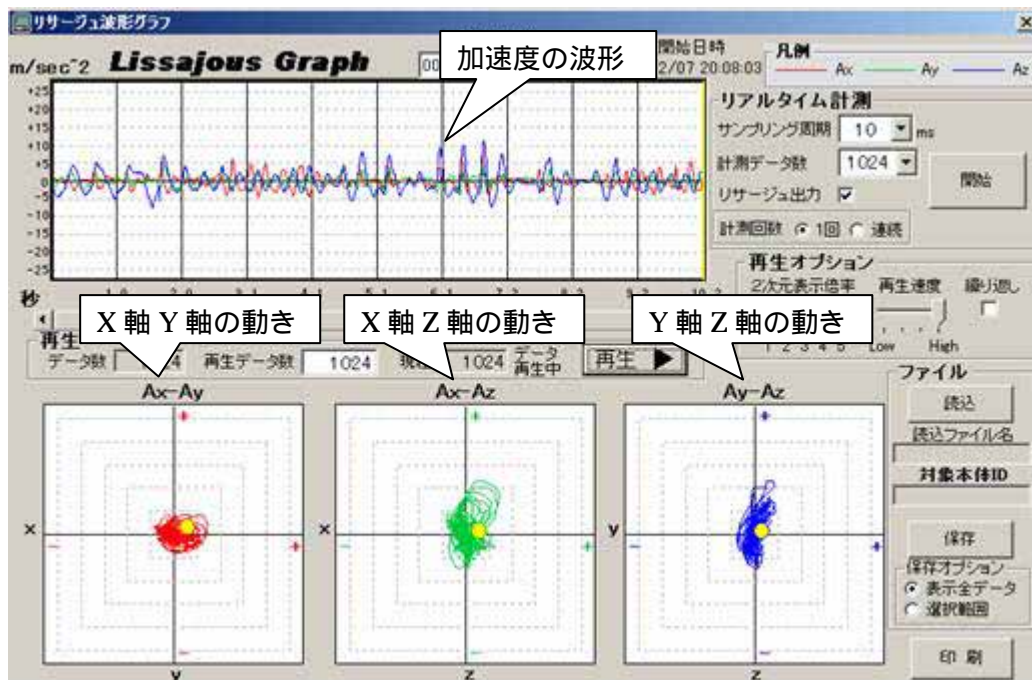


図3-15 リアルタイム通信モードでの加速度データ表示画面

Excel でのデータ表示

それぞれの加速度データは、Excel ファイルで数値を表示・保存することができる。図3-16は Excel で加速度データを表示したものである。加速度データは、0.01 秒毎にデータが保存される。このように Excel で表示・保存できることで、図3-17に示すように X 軸、Y 軸、Z 軸の加速度データのグラフも容易に作成することができる。

#Time(sec)	Ax(m/(sec ²))	Ay(m/(sec ²))	Az(m/(sec ²))
0.01	-1.404	-4.914	0.234
0.02	-0.234	-3.978	0.234
0.03	0.702	-2.574	0.468
0.04	0.936	-1.872	1.17
0.05	1.17	-1.872	1.872
0.06	1.17	3.042	1.872
0.07	2.106	1.638	1.638
0.08	1.638	2.106	1.17
0.09	1.17	0.468	1.404
0.1	0.702	-0.936	1.404
0.11	0.468	-0.936	0.936
0.12	0.468	-0.936	0.702
0.13	0.702	-0.468	0.936
0.14	0.936	1.404	0.936
0.15	1.17	1.872	1.17
0.16	0.936	2.574	1.872
0.17	2.34	5.148	1.638
0.18	3.276	4.212	0.936
0.19	3.276	4.446	0.702
0.2	2.574	5.382	0.936
0.21	3.042	5.616	1.17
0.22	2.808	5.85	1.17
0.23	2.574	5.85	1.17

図 3-16 Excel のアウトプットシート

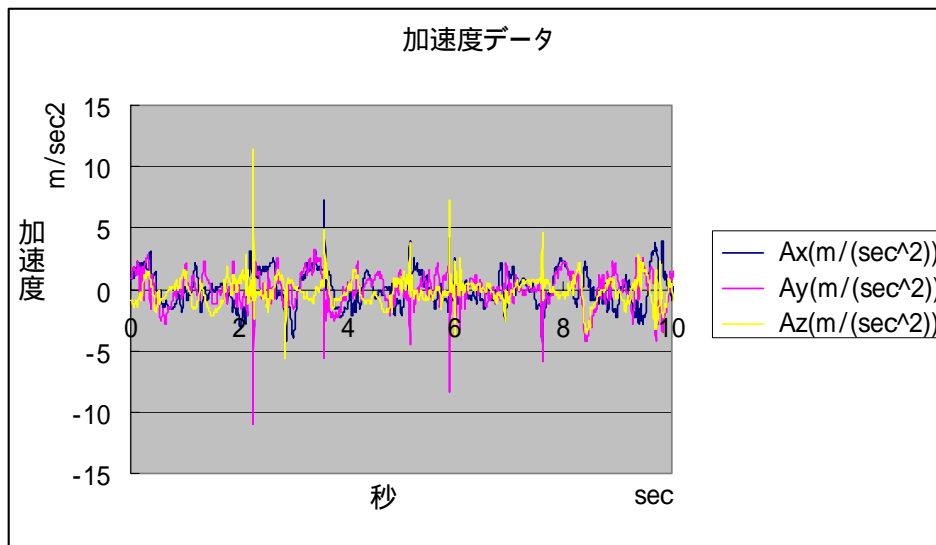


図 3-17 Excel での加速度データ表示画面

3.3.2 校内実験の概要及び結果

高度情報処理技術を用いたワークサンプリングを行うために、まず G センサーを用いて、労働者の作業を「直接生産動作」、「補助支援動作」、「作業遅延動作」に区分することが可能かどうかの検証実験を試みた。携帯型 3 次元加速度データロガー（G センサー）による各作業の振動パターンの確認、及び直接生産動作、補助支援動作、作業遅延動作がそれぞれどのような固有の振動を有するのかを把握することが目的である。

(1) 実験方法

校内実験では行える作業が限られているため、下記に示す計 13 の作業パターン(動作)に特定して行った。各 13 の作業パターンの振動を 5 回ずつ計測し、直接生産動作、補助支援動作、作業遅延動作のそれぞれの固有振動パターンを把握する。本実験では、リアルタイムモードによる加速度の計測を行った。

G センサー(発信機)の取り付け位置は、頭部(ヘルメット)(写真 3-7 参照)と、腰(写真 3-8 参照)の 2 通りとした。腰に取り付ける場合は、建設工事現場で労働者が安全ベルトに G センサーを取り付けた場合を想定している。

なお、X 軸、Y 軸、Z 軸の方向性は、図 3-18 で示したように方向を合わせた。



写真 3-7 頭部に G センサーを取り付けた場合 写真 3-8 腰に G センサーを取り付けた場合

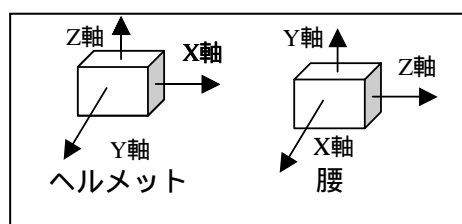


図 3-18 XYZ 軸の方向

実験で行った作業パターン(動作)を以下に示す。

1) 直接生産動作

- フォークリフトを運転する動作
- バイブレータを使用する動作
- 腰を落してハンマーで釘を打つ動作
- 立ってハンマーで釘を打つ動作
- 工具、材料等を持ち上げたり下ろしたりする動作
- スコップを使用する動作

2) 補助支援動作

- 作業員自身が移動する動作
- 資機材の運搬動作(ケース 1 : 軽い資材 鉄筋・木材等)

資機材の運搬動作（ケース 2：重い資材）

資機材の運搬動作（ケース 3：重い資材 1 人では持つことができないもの）

図面や指示の確認動作

工具・材料の準備動作

3) 作業遅延動作

待機・定時内での小休止，休憩

(2) 実験結果

実験結果として得られた加速度データを基に，作業パターン毎の振動パターンと考察を以下に述べる．

1) 直接生産動作の振動パターン

フォークリフトを運転する動作

G センサーをヘルメットに取り付けた場合は，運転時に周りを見渡す動作にヘルメットに装着した G センサーが反応していることが分かった．また，運転時にフォークリフトのタイヤが動く振動に腰に装着した G センサーが反応していることが分かった．地面に段差がある場合，図 3-19 の 印で示した様に，腰に大きく振動が伝わるがこのグラフより確認できる．

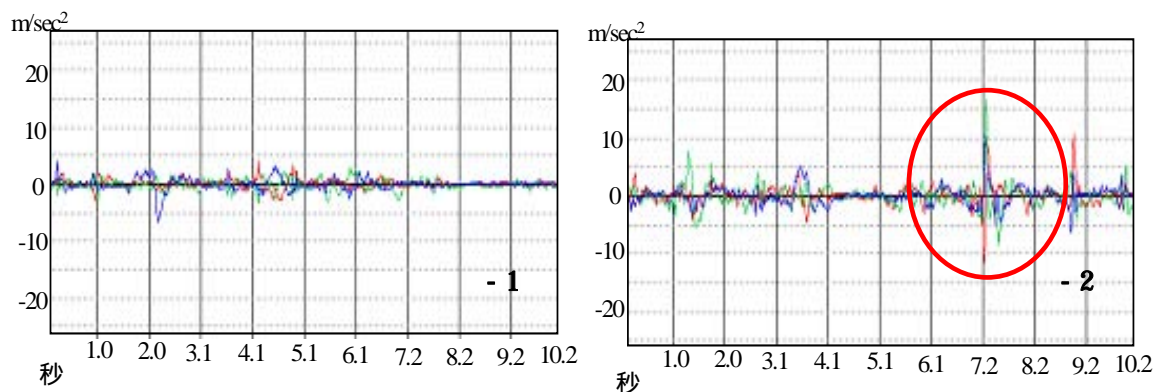


図 3-19 フォークリフト運転時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1：G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2：G センサーを腰に取り付けた場合

バイブレータを使用する動作

G センサーをヘルメットに着けた場合は，手に持っているバイブレーターの振動が，あまり伝わっていない．一方，腰に取り付けた場合は，バイブレーターの振動に G センサーが反応していることがわかる．

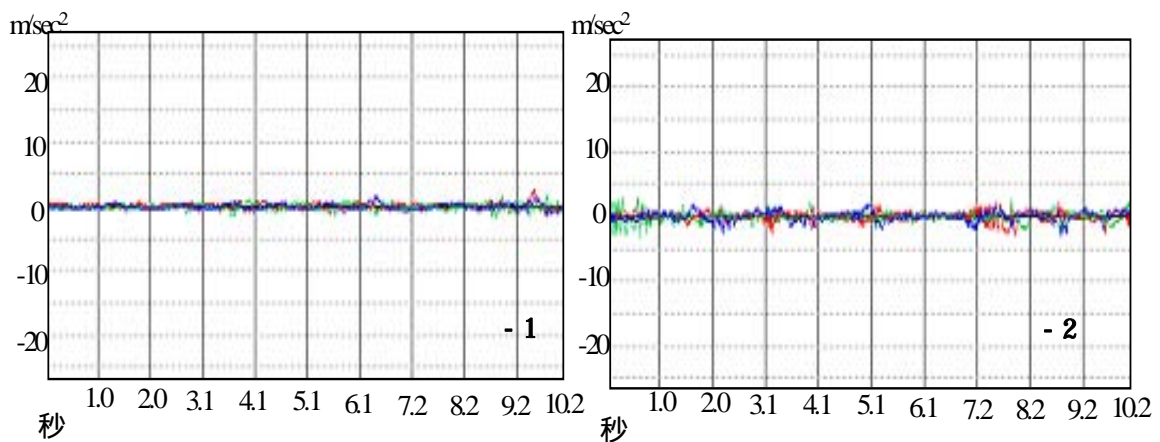


図 3-20 バイブレータ使用時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

腰を落してハンマーで釘を打つ動作

腰を落してハンマーを用いた場合，腕を動かすことでヘルメットに装着した G センサーに振動が伝わっていることが分かる．腰に装着した場合は，ハンマーを打っても G センサーに振動が伝わりにくいという結果を得た．図 3-21 の - 2 内で振動が検出されている箇所があるが，これは足の位置を変えた時の振動である．

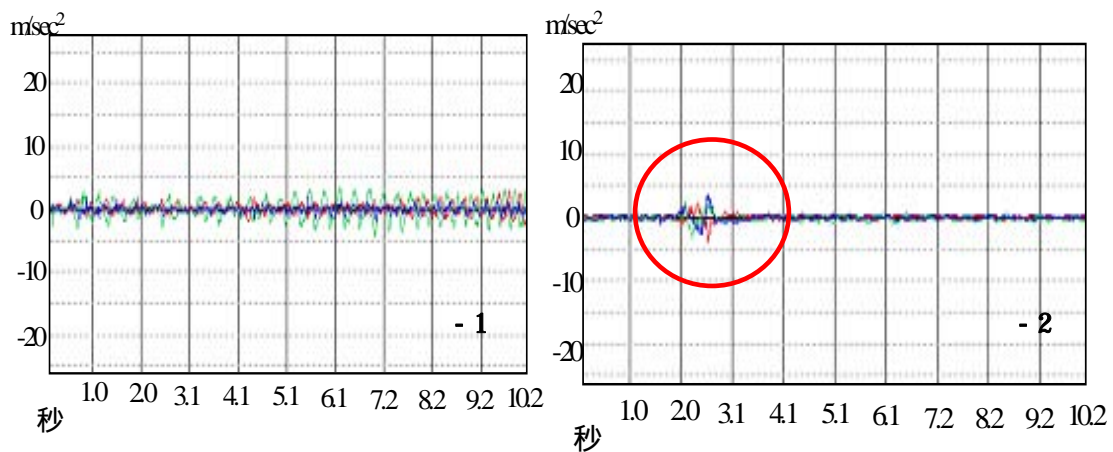


図 3-21 ハンマーで釘を打っている時の振動パターン（腰を落して作業）（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

立ってハンマーで釘を打つ作業

立ってハンマーを打つ場合は、ヘルメットと腰に装着した場合、共に加速度波形が検出されるが、ヘルメット装着の方が腰を落してハンマーを打つ場合と近似した波形が検出されることがわかった。

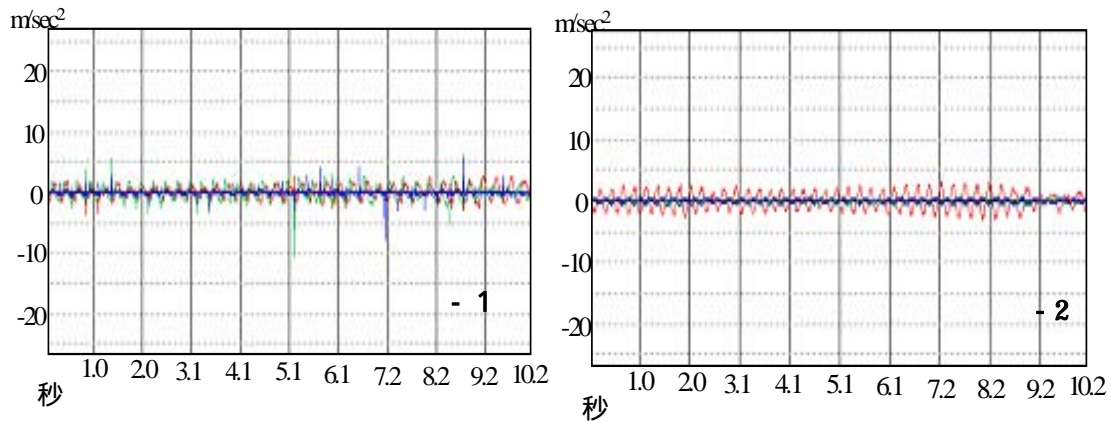


図 3-22 ハンマーで釘を打っている時の振動パターン(立って作業)(加速度グラフ)
グラフ - 1: G センサーをヘルメットに取り付けた場合
グラフ - 2: G センサーを腰に取り付けた場合

工具、材料等を持ち上げたり下ろしたりする動作

工具を持ち上げたり下ろしたりする動作は、上下左右の動きが作用するので、ヘルメットと腰共に振動しており G センサーが大きく反応していることが分かる。

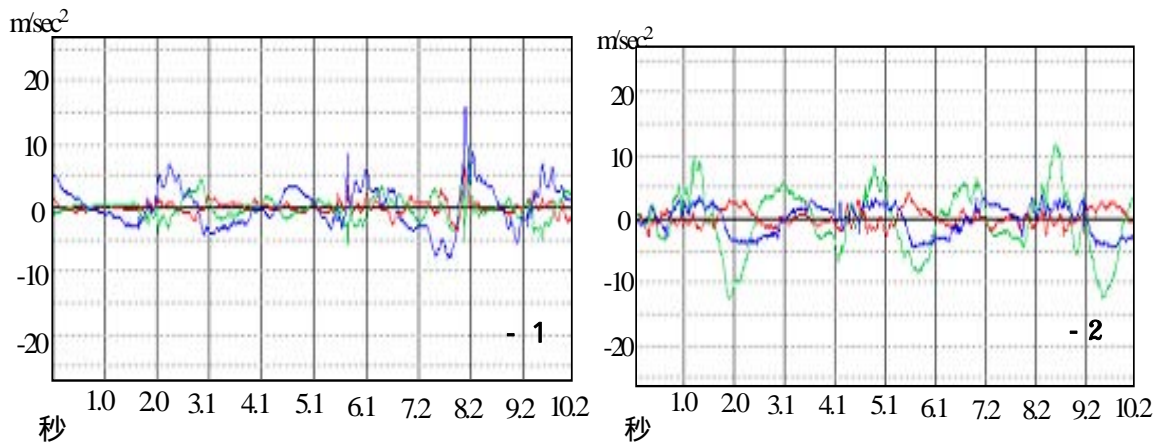


図 3-23 工具、材料等を持ち上げたり下ろしたりする時の振動パターン(加速度グラフ)
グラフ - 1: G センサーをヘルメットに取り付けた場合
グラフ - 2: G センサーを腰に取り付けた場合

スコップを使用する動作

スコップを使う場合も、工具、材料等を持ち上げたり下ろしたりする動作と同様に、腰と腕を使う動作であり、ヘルメットと腰共に振動していることが分かる。

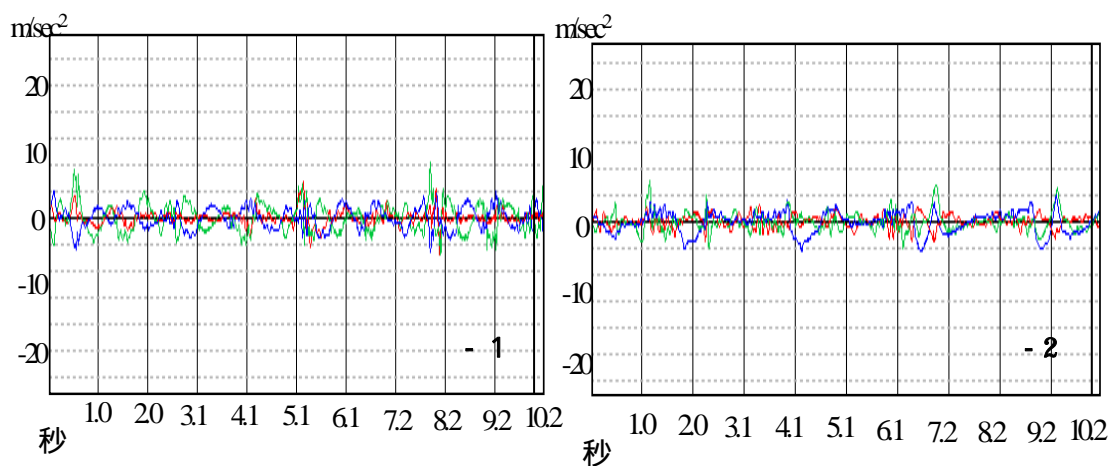


図 3-24 スコップを使う時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

2) 補助支援動作の振動パターン

労働者自身の移動動作

労働者自身の移動動作の場合は、ヘルメット、腰共に一定の振動が伝わっている。

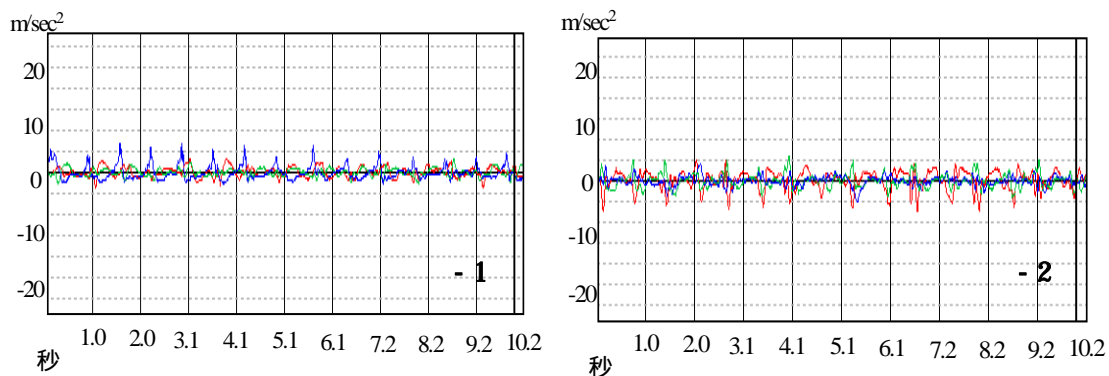


図 3-25 作業員自身の移動時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

資機材の運搬動作（ケース 1 軽い資材 鉄筋・木材等）

鉄筋・木材等の運搬動作は労働者自身の移動動作と似ており、一定の振動であることが分かる。労働者自身の移動動作との相違点は、資機材を持つことにより波高が少し高いことが分かる。資機材を持つことで波形の周期は似ているが、波高に変化があることが分かる。

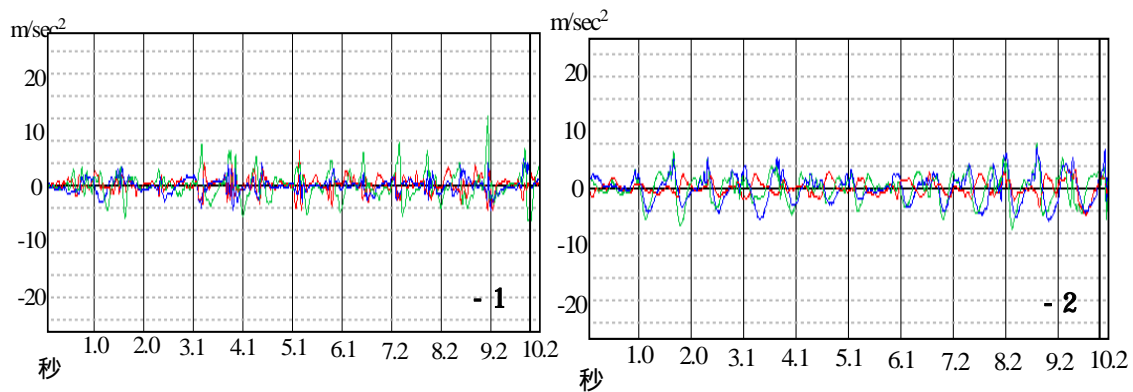


図 3-26 資機材の運搬動作時の振動パターン(ケース 1 軽い資機材)(加速度グラフ)
 グラフ - 1 は : G センサーをヘルメットに取り付けた場合
 グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

資機材の運搬動作(ケース 2 重い資材)

重い資機材の運搬動作は、軽い資材の運搬動作の場合と波形は似ているが、運搬する資機材を持ちかえる時に発生する波形が記録される。

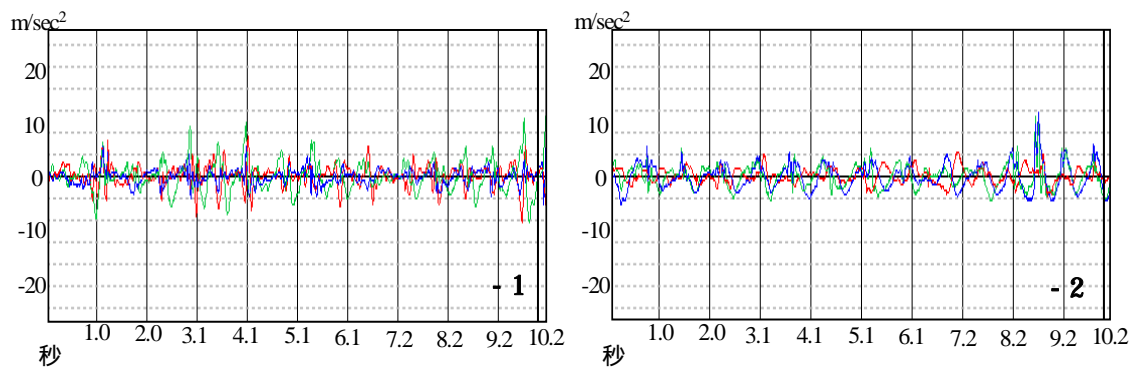


図 3-27 資機材の運搬動作時の振動パターン(ケース 2 重い資機材)(加速度グラフ)
 グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合
 グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

資機材の運搬動作(ケース 3 重い資材 1人では持つことができないもの)

2人以上で持つ必要がある資機材を運搬する時の振動パターンも、労働者自身の移動動作、軽い資材(鉄筋・木材等)を運搬する動作や重い資材の運搬動作と波形が似ている。

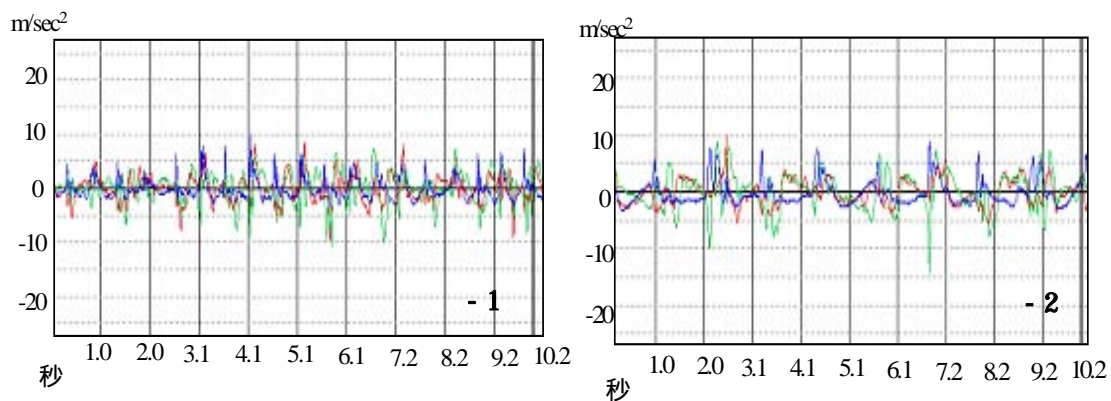


図 3-28 資機材の運搬動作の振動パターン（ケース 3）（加速度グラフ）

グラフ - 1：G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2：G センサーを腰に取り付けた場合

図面や指示の確認動作

図面や指示の確認動作は、立ち止まって行う動作のため、あまり振動が無いことが図 3-29 から確認できる。

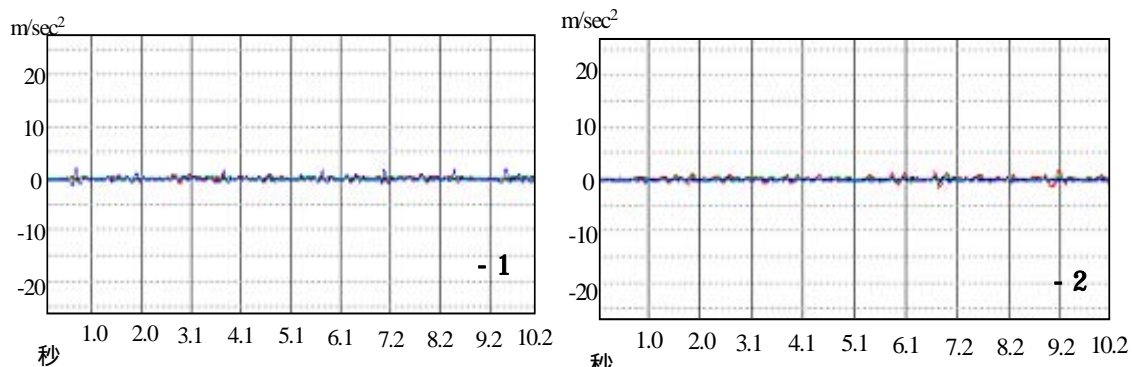


図 3-29 図面・指示の確認時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1：G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2：G センサーを腰に取り付けた場合

工具材料の準備動作

工具/材料の準備動作は、工具の取り出し、収納、また機器を準備する等の動作でヘルメット、腰共に振動を確認することができた。

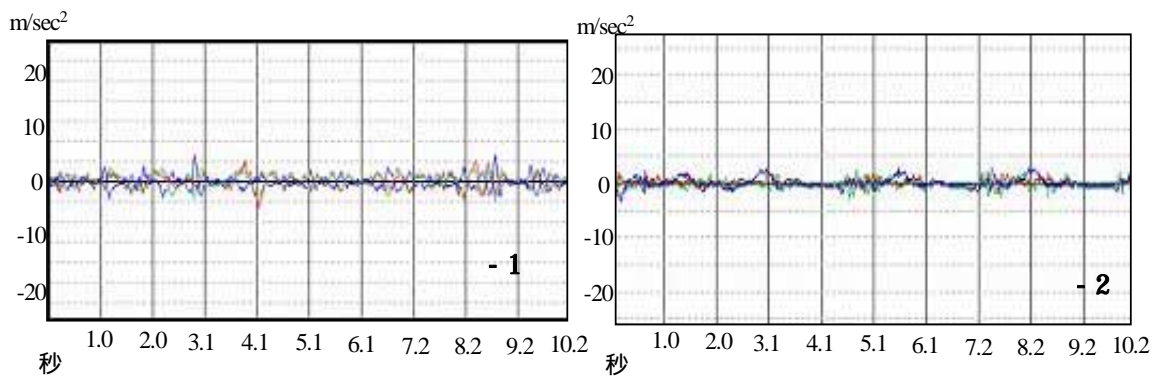


図 3-30 工具・材料の準備時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

3) 作業遅延動作の振動パターン

待機，定時内での小休止，休憩

待機，定時内での小休止，休憩している時は，あまり体を動かすことが無く地面に座っていたりするので振動はほとんど確認できない。

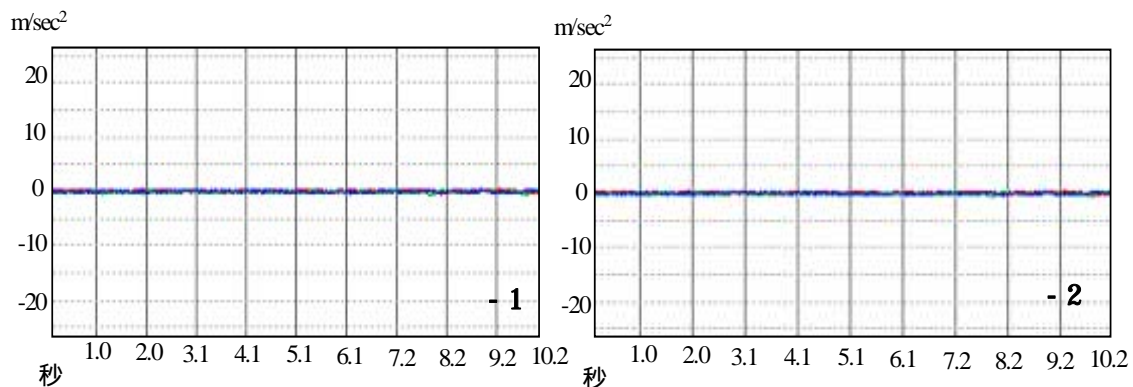


図 3-31 小休止，休憩時の振動パターン（加速度グラフ）

グラフ - 1 : G センサーをヘルメットに取り付けた場合

グラフ - 2 : G センサーを腰に取り付けた場合

校内実験で得られた加速度データの内「補助支援動作」の以下の 4 つの振動パターンを見てもと、図 3-32 のように、労働者自身の移動動作と資機材を持って移動する動作を比較すると波形は似ており両動作を分類することは難しい。

しかし労働者が何も持たずに移動する場合と、資機材を持ち移動する場合の振幅を見てみると違いがあることが分かる。労働者自身が移動する場合は、最大振幅数が約 $\pm 5\text{m/sec}^2$ 以下の範囲であるが、資機材の運搬動作（ケース 1, 2, 3）の最大振幅数は約 $\pm 10\text{m/sec}^2$ であり大きく差があることが分かる。図 3-32 内で赤く囲っている部分は、各動作の最大振幅数であり、青く囲っているのは、労働者の移動動作の最大振幅数である。この様に最大振幅数を重ね合わせると、労働者自身の移動動作と 資機材の運搬動作の区別が可能となる。

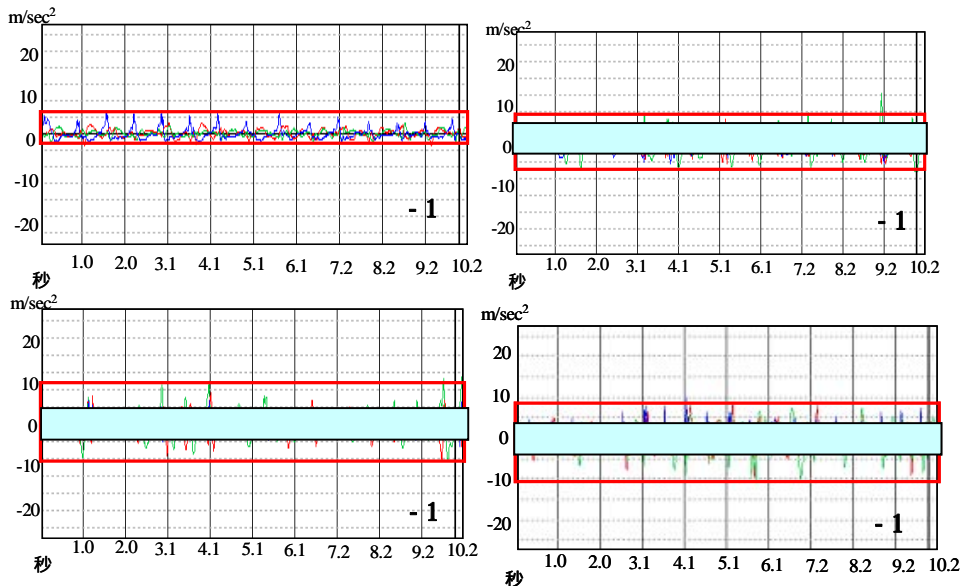


図 3-32 作業員自身の移動と資機材の運搬動作の違い

3.3.3. Gセンサーシステムによる作業状況分析

先ず、校内で行った実験で得られたGセンサーシステムによる加速度波形パターンによって2章で示した「生産性区分」と「作業構成要素区分」が特定できるかを整理することにする(図3-33参照)。

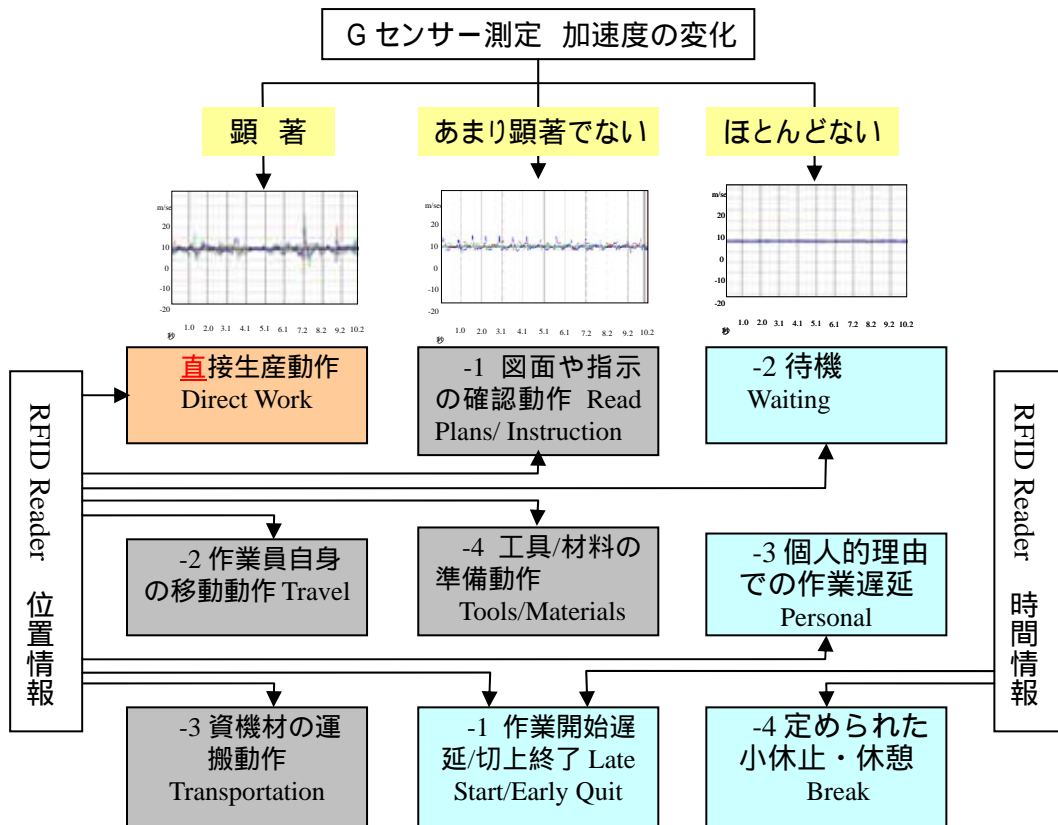


図 3-33 データの組み合わせによる「生産性区分」と「作業構成要素区分」

「直接生産動作」(Direct Work) に分類される作業はいずれも不規則な加速度波形を示しており，労働者の位置情報と組み合わせることにより，「補助支援動作」(Support) と区別することはかなりの確率で可能と考えられる．また，「補助支援動作」(Support) の内，
 -1 図面や指示の確認動作(Read Plans/ Instruction)は，「作業遅延動作」(Delay) に含まれる
 -2 待機(Waiting)，
 -3 個人的理由での作業遅延(Personal)，
 -4 定められた小休止・休憩(Break)等と同様な加速度波形情報となるが位置情報や時間情報と連動分析することにより特定の可能性が生まれてくる．このように位置情報，時間情報，加速度情報を組み合わせることにより「生産性区分」と「作業構成要素区分」の特定が可能となる．この考えの元に建設工事現場での実験を試みる．

3.3.4 現場実験概要及び結果

校内実験により，「作業遅延動作」を把握できることがわかった．次のステップとして実現場で本システムを適用した場合，当初の機能を保持しているかどうかの検証を行った．

実験期間：2005年 11月 17日

天候：晴れ

目的：Gセンサーシステムの検証

実験場所：高知県室戸市（図 3-34 参照）リゾート施設新築工事現場

主なる作業：土工事



図 3-34 室戸市現場付近概要図

(1) 実験方法

建設現場で，労働者 1 名に G センサーを装着し，普段通りの作業を実施してもらった．今回は，建設現場が広く労働者がアンテナ受信範囲外で作業を行った場合，データの収集が出来なくなるので，内蔵メモリーモードで加速度データの保存を行うこととした．図 3-35 内の現場図面で 〇で囲っている部分で作業が行われた．スケジュール表は，実験当日に，行われる作業を示している．写真 3-9，3-10，3-11 は，それぞれ現場内の様子，実験風景，G センサ

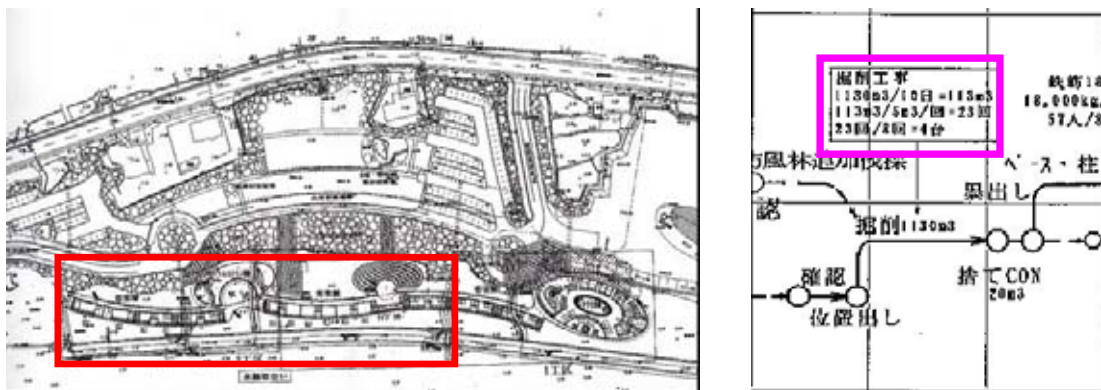


図 3-35 現場図面・スケジュール表



写真 3-9 現場内写真



写真 3-10 建設現場での実験風景



写真 3-11 Gセンサーを装着し，作業を行う様子

—を装着し作業を行う様子を示している．

_(2) 実験結果

実験規則は作業開始の午前 9 時から作業終了の午後 4 時まで行った．写真 3-12 は 09：00 から 16：00，図 3-36 は，それぞれの時間帯の加速度データを示したものである．G センサーを装着した労働者の当日の作業内容は以下の通りである．

1. 09 : 00 ~ 11 : 00 埋め戻し作業
2. 11 : 00 ~ 12 : 00 スコップによる掘削作業
3. 13 : 00 ~ 15 : 00 捨コンクリートの打設作業
4. 15 : 00 ~ 15 : 30 休憩
5. 15 : 30 ~ 16 : 00 測量補助作業 .



写真 3-12 各時間帯での作業状況写真

図 3-36 に示された、それぞれの時間帯の加速度データと、校内実験で得た加速度データを比較し「生産性区分」と「作業構成要素区分」の特定分析を行った。この実験では位置情報、時間情報を RFID システムを用いた測定によるデジタルデータではなく、実験者が直接確認する方法を取ったが、これら 3 つのデータを組み合わせることにより「生産性区分」と「作業構成要素区分」の特定分析の可能性が確認されたと考える。尚、米国では、位置情報、時

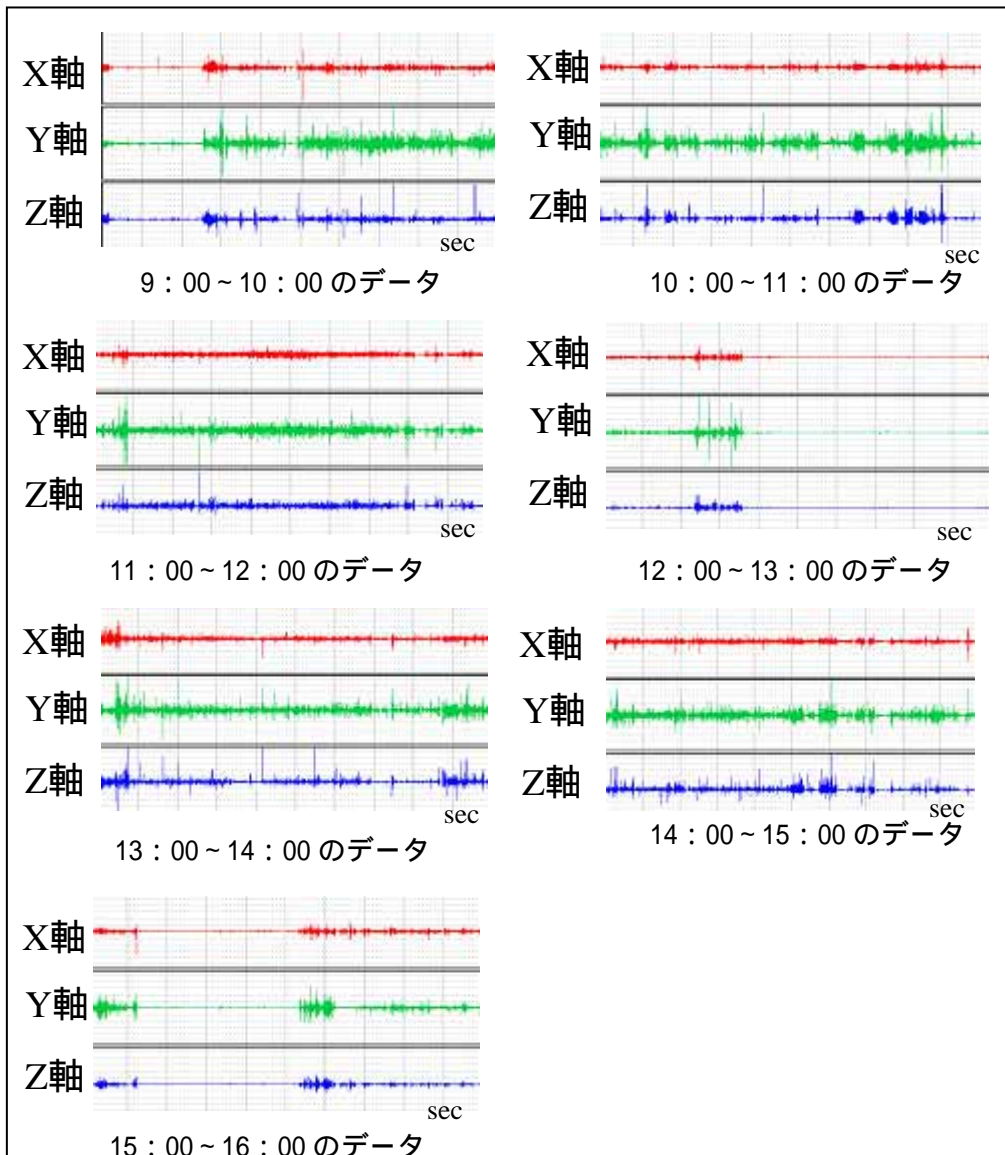


図 3-38 各時間の加速度の波形データ

間情報等をビデオカメラを用いて収集する方法が行われているが、我が国においては労働者の労働意欲にも関連するものとなり、よい方法とは思えない。

4．まとめ

バブル経済の破綻以降，建設産業に対する国民の信頼は大きく後退してしまった．国民の信頼を獲得するためには建設産業の構造改革に向けての抜本的対策が必要となっている．建設産業改革の抜本的対策とは如何なるものか．国民の信頼を獲得するための基本は透明性の向上であり，説明責任を自覚し，これを全うすることであろう．

我が国の建設産業の特色は“結果の管理”を基盤としており，発注者もコントラクターも，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るといつてよい．生産性管理データ（工事歩掛）はプロジェクトの遂行事態を現す最も基本的なデータであり，プロジェクトのマネジメントに必須のデータであるといえる．しかしながら，我が国ではその収集・分析はこれまで属人的手法に頼っているのが実態である．本研究で試みた生産性管理データを科学的手法によって収集・分析するシステムの構築は，データの精度向上といった意味ばかりでなく，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られる．システムそのものは未だ汎用のレベルに至っていないが，その基盤形成は固めることが出来たと考えている．本研究は，今後も継続して行ってゆく覚悟である．

参考文献

1. 草柳俊二,「21世紀型建設産業の理論と実践」,山海堂
2. 安里哲平,「建設現場における高度情報処理技術(IT)を活用した生産性管理データの測定技術に関する研究」,高知工科大学社会システム工学コース平成15年度修士論文
3. 財団法人日本建設情報総合センター研究助成事業調査報告書 國島正彦,「出来高部分払方式による公共工事マネジメントシステムの開発」
4. 「国土交通省土木工事積算基準 平成15年度版」,財団法人建設物価調査会
5. 「土木工事積算基準マニュアル 平成16年度版」,財団法人建設物価調査会
6. 「コスト管理合理化のためのシステム構築に関する調査報告書」,財団法人建設経済研究所
7. 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/>
8. 建設物価調査会ホームページ, <http://www.kensetu-bukka.or.jp/>
9. 財団法人建設経済研究所ホームページ, <http://www.rice.or.jp/j-home/j-home.html>
10. 月刊建産連,2004年3月号4頁,
http://www.e-kensetsu.com/program/kensan_tsutatsu.k_view_honbun?aTSUTATSU_ID=1227
11. JIA News,2000年12月号, <http://www.jia.or.jp/topics/planning/2000/0012.htm>
12. 公共工事標準請負契約約款
[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/const/kengyo/yakkan/KOUKYO\(15.2.10\).htm](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/const/kengyo/yakkan/KOUKYO(15.2.10).htm)
13. 「プログラミングPerl 第3版 VOLUME1,2」,オイラリー・ジャパン
14. 「Perl5 パワフルテクニック大全集」,インプレス
15. IT用語辞典ホームページ, <http://e-words.jp/w/Perl.html>
16. PERL 基礎入門ホームページ, <http://www.kent-web.com/perl/index.html>
17. Yahoo!ホームページ地図情報, <http://map.yahoo.co.jp/>
18. デジタルアイテム用語集ホームページ, http://kw.allabout.co.jp/glossary/g_digital/
19. マイクロストーン株式会社ホームページ, <http://www.microstone.co.jp/index.htm>
20. 「品質管理のはなし」,日科技連,米山高範,1993
21. 「統計的方法」,日本規格協会,森口繁一,2005
22. Quality Information Service ホームページ QC テクニック初級講座,
<http://homepage1.nifty.com/QCC/sqc2/sqc-2.html>
23. Net Work World Online ホームページ, <http://www.networkworld.jp/news/-/26113.html>
24. 株式会社矢野経済研究所ホームページ, <http://www.yano.co.jp/>