

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

高知工科大学教授 草柳俊二
同 講師 五艘隆志

研究の背景

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し、分析を行っている状況にあり、建設産業の共通システムとして確立されたものとはなっていない

<現状>

- ◆ワークサンプリングによるデータ収集・分析手法そのものは既に存在例: 日本建築学会作業能率測定指針(1986), 草柳(1995)など
- ◆データ収集・分析手法が組織的に活用されていない

<課題>

- ◆個人的に収集されたデータは組織に蓄積されない
- ◆生産性向上への組織的な取り組みには組織的なデータ収集・分析が不可欠

<生産性向上のための組織的なデータ収集・分析事例>

直接生産動作 補助支援動作 作業遅延動作 草柳(1995)



ACTIVITY ANALYSIS

OVERALL PERCENTAGE BY DAY OF WEEK IN PERCENT

	DIRECT	PLN/INST. TOOL/MTL.	TRANS.	TRAVL	L/S. E/Q	WAIT	PERSN	BREAK	TOTAL
MONDAY	39.7	4.9	4.1	4.7	13.5	2.0	19.6	5.8	100.0%
TUESDAY	41.8	4.6	4.8	3.9	10.8	1.6	18.8	6.9	100.0%
WEDNESDAY	40.6	4.6	5.0	4.3	11.5	0.4	20.3	7.4	100.0%
THURSDAY	37.5	5.5	4.8	5.4	15.1	1.6	17.6	8.0	100.0%
FRIDAY	35.8	3.4	4.7	4.4	17.6	0.4	22.8	7.1	100.0%
SATURDAY									
SUNDAY									
STDY. AVERAGE	39.1%	4.9%	4.6%	4.8%	13.8%	1.2%	19.2%	7.1%	100.0%
* (AVERAGE)	(32.0)	(8.0%)	-(7.0%)	-(13.0%)	(6.0%)	(29.0%)	-(5.0%)	-(100.0%)	

米国の石炭火力発電所における3ヶ月間のワークサンプリングで取得された、曜日別平均値を示したもの

wait(待機)の割合は**19.2%**…米国平均**29.0%**より高い生産性

これは、フォアマンの意見を取り入れた生産性向上活動の結果

生産性を定量的な指標で把握し、生産性向上に活用することが可能

先の例は、調査員の手作業によるワークサンプリング
ワークサンプリングに**情報技術(IT)**を活用することで
以下の効果が期待できる

- ◆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
- ◆上述より、組織的なデータ収集・分析が容易になる



2002年高知工科大学にて研究着手
以降、(財)日本建設情報総合センター(JACIC)、文科省
科学研究費による助成も受けつつ継続的に実施してきた

先行研究の整理

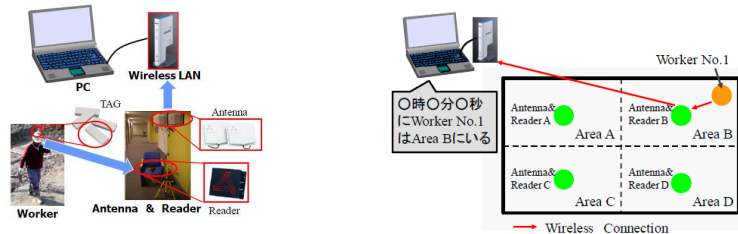
1. 「労務」生産性管理データの収集・分析システム構築 (2002-2005)

■構築方針の整理

労務、建設機械、材料のうち、「**労務**」に関するデータの収集・分析システムの構築を第一ステップとしておこなう

■位置情報取得にはRFIDを用いる

※RFID(Radio Frequency Identification)

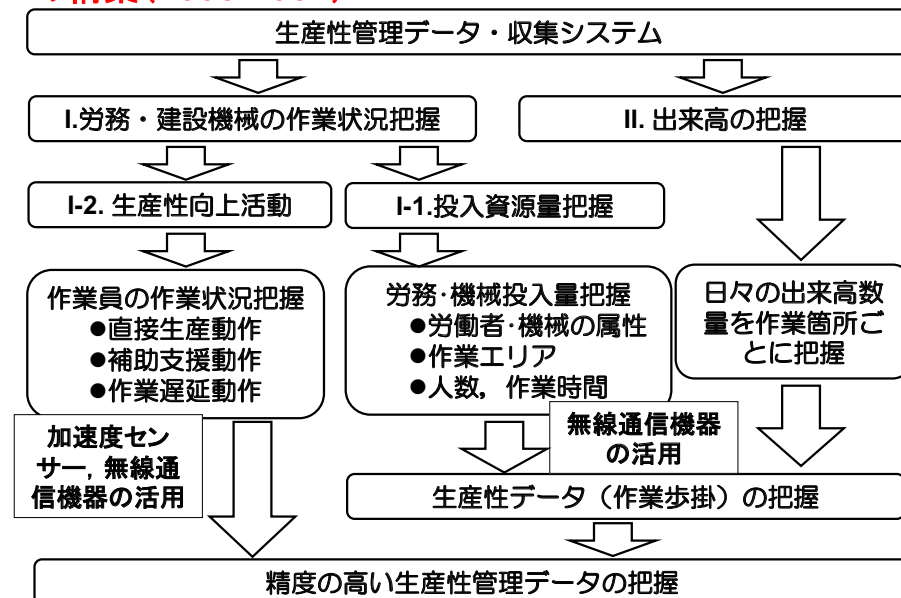


■生産性分析を行うための作業動作区分と定義設定

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

労働者の作業状況をこの9区分に分類する

2. 位置情報と加速度情報から生産性分析を行うシステムの構築 (2005-2007)



■作業員の振動パターンによる作業動作区分の判別概念



3.Delay

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

■位置情報と加速度情報の組み合わせによる作業動作区分の判別

測定器	加速度情報		位置情報		
	Gセンサー	Active RFID	位置情報	時間情報	職種・職位情報
生産性区分	振動パターン情報	加速度データ			
1. Direct Work					
2. Support					
2.1. Read Plans/ Instruction					
2.2. Travel					
2.3. Transportation					
2.4. Tools/Materials					
3. Delay					
3.1. Late Start/Early Quit					
3.2. Waiting					
3.3. Personal					
3.4. Break					

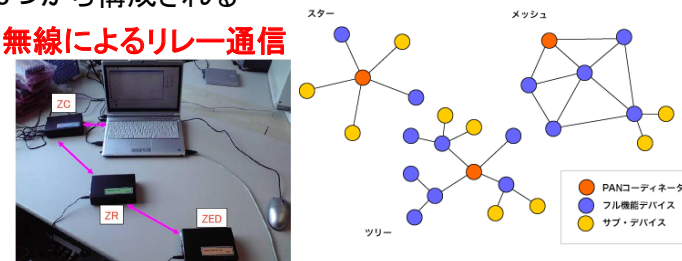
緑色セル: 主判定情報
黄色セル: 副判定情報

概念が示され、現場実験にて判別できることが確認された

2009年度の研究

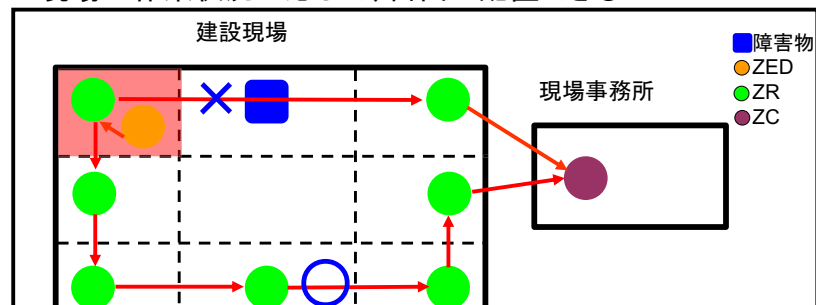
■ZigBeeを用いた新たな位置情報収集システムの構築 (RFIDからZigBeeへの変更)

- ◆ ZigBeeとは、短距離無線通信規格の一つ(最長100m程度)
- ◆ 安価で消費電力が低いので家電向けに多く使用されている
- ◆ “Zig”とはジグザグ、“Bee”は蜂を表す
- ◆ ZigBeeネットワークは、ネットワーク制御の役割を持つ**コーディネータ(ZC)**、中継機能を持つ**ルータ(ZR)**、端末の**エンドデバイス(ZED)**の3つから構成される
- ◆ 右図の様な**無線によるリレー通信**が可能



ZigBee位置取得システムの建設現場への適用

ルータ(ZR)は小型で建設工事の妨げにならない
現場の作業状況に応じて、自由に配置できる



作業員の位置をより**高精度**で把握することができる

専門企業((株)トアック)とKUT
生産性測定用のZigBee位置取得システムの共同開発

生産性管理データ収集・分析システム開発の フローと役割分担

青色: トアックの分担

作業員の位置情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発
- ・保存された受信記録から各発信端末の位置を推定するソフトウェアの開発

作業員の加速度情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発

位置情報と加速度情報を統合するソフトウェアの開発

「位置情報」「加速度情報」および「作業員属性情報」から、自動的に作業員の作業状況を判別するソフトウェアの開発

建設現場における稼働実験

- ・手作業でのワークサンプリングデータ分析
- ↑ 比較 ↓
- ・自動的に得られたデータ分析

ZigBeeを用いた位置取得システムを生産性分析に 用いるために越えなければならない問題

1. 正確な位置情報を取得できるか
2. 障害物がある場合の位置情報を取得できるか
3. 建設現場でZigBee位置取得システムが活用できるか

上記の問題を解決するために動作確認実験を行った

生産性管理データ収集・分析システム開発の フローと役割分担

青色:トアックの分担

作業員の位置情報を得るシステム
の開発

- ・発信端末及び受信端末の開発
- ・保存された受信記録から各発信端末の
位置を推定するソフトウェアの開発

作業員の加速度情報を得るシス
テム開発

- ・発信端末及び受信端末の開発

位置情報と加速度情報を統合するソフトウェアの開発

「位置情報」「加速度情報」および「作業員属性情報」から、
自動的に作業員の作業状況を判別するソフトウェアの開発

建設現場における稼動実験

- ・手作業でのワークサンプリングデータ分析
- ↑ 比較 ↓
- ・自動的に得られたデータ分析

エンドデバイス(ZED)が最も近いルータ(ZR)に接続するかの確認

問題: エンドデバイス(ZED)が遠いルータ(ZR)に接続してしまう

エンドデバイスを持つ

パイプ椅子の上にルータを設置

5m

原因の究明

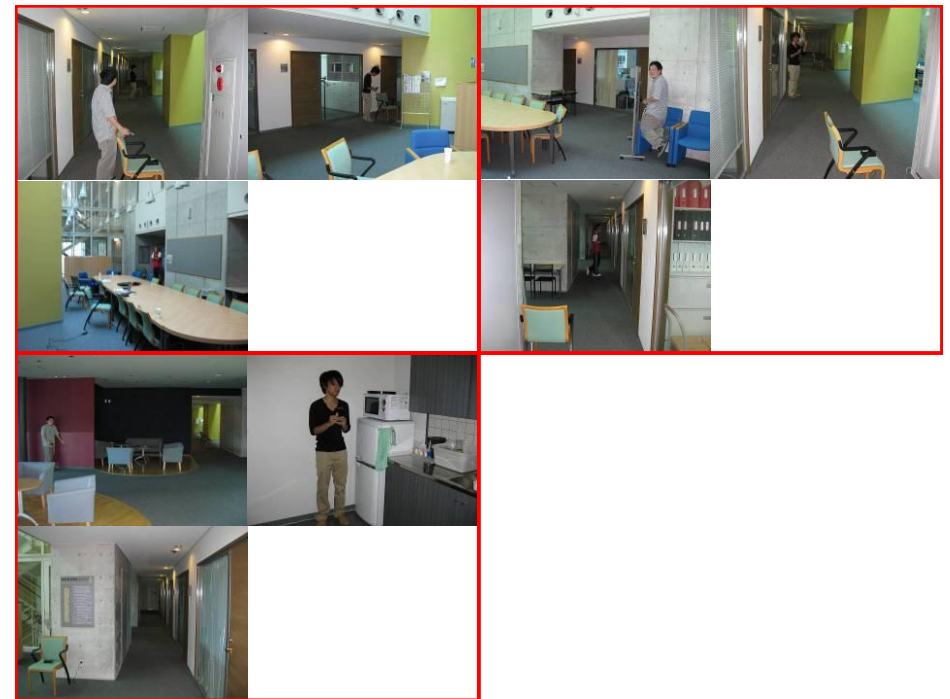
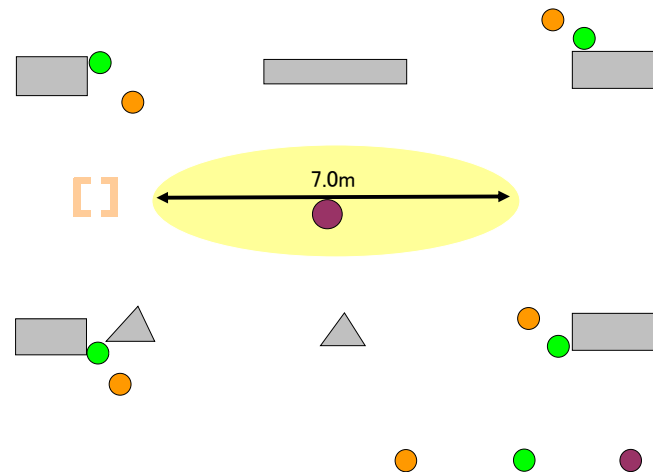
- 電波強度が強すぎる
- 電波接続の継続性
(切替え機能が上手く作動しない)

PCにコーディネー

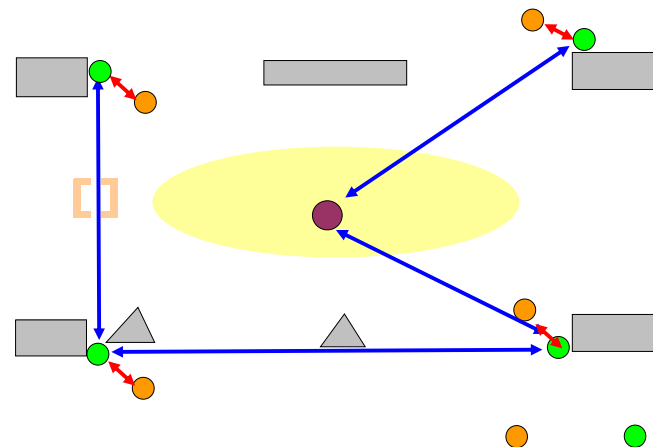
実験2: 適正電波出力の検出実験(屋内外) 16段階の電波出力検証

ルータの間隔を5m, 10m, 20m間隔とし、
エンドデバイスとルータの接続を確認

実験より屋内外ともに最小出力が
最適であることが確認された

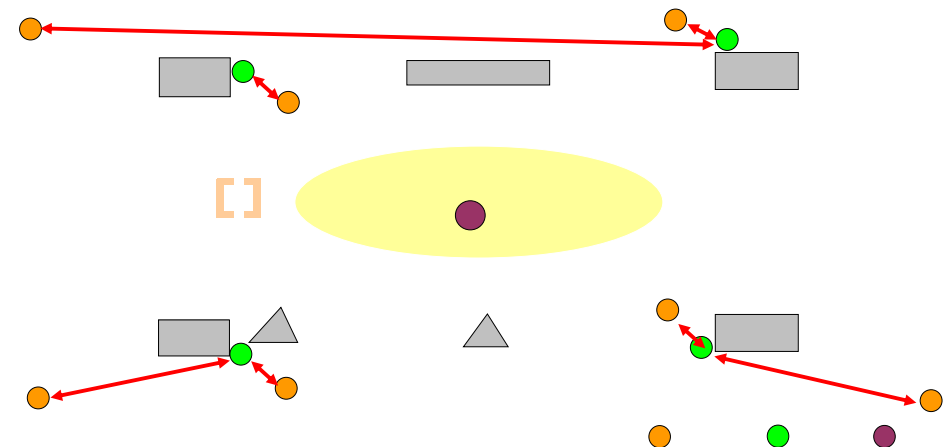


1. ルータとエンドデバイスの間に障害物がない場合

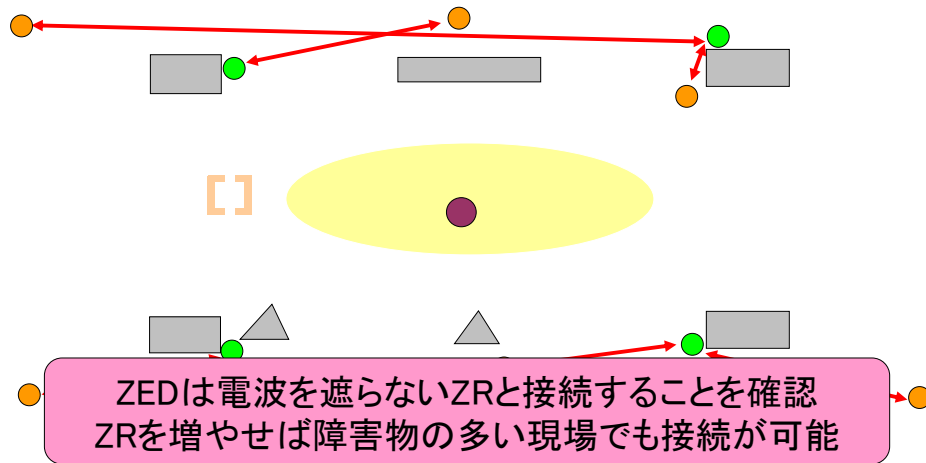


障害物がない場合は最も近いルーターに接続

2. エンドデバイスとルータの位置による接続状況変化の検証



2. エンドデバイスとルータの位置による 接続状況変化の検証

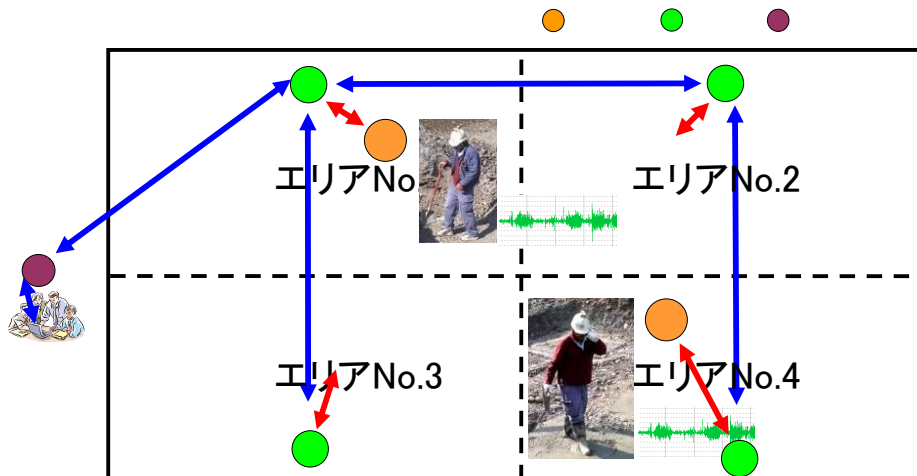


実験4: 建設現場におけるデータ取得実験

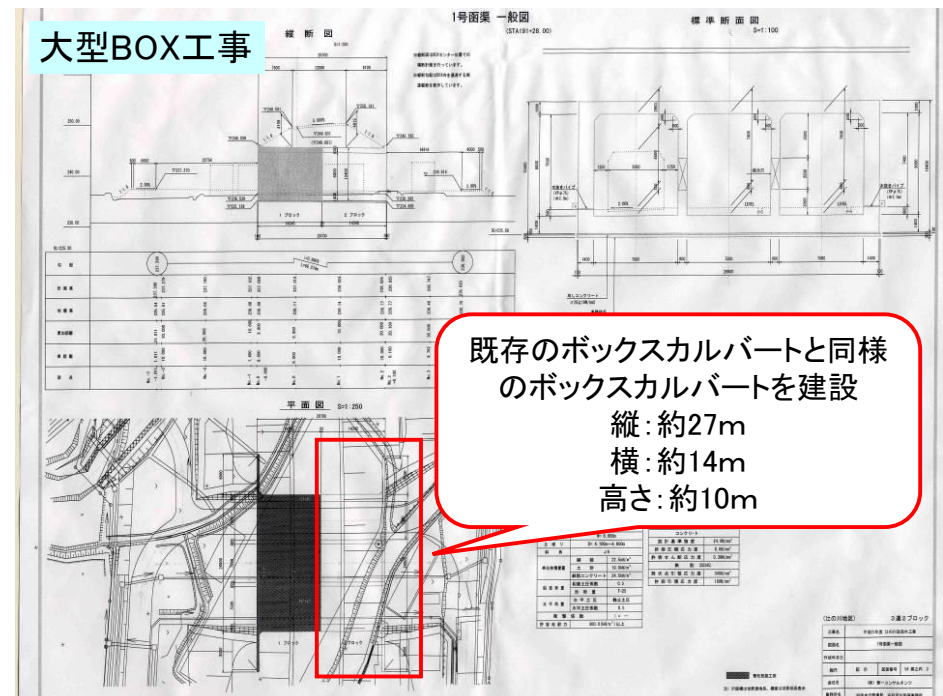
- 2009/12/07/月、2009/12/17/木
- 8:00~17:00(午前:土木工事、午後:建築工事)
 - 土木工事: 大型ボックスカルバート
 - 建築工事: デイサービス・保育所新築工事
- ZigBee位置取得システムとGセンサのデータ取得を行う
 - ZigBee機器は作業に支障のない足場や壁に設置
 - Gセンサは各作業員のヘルメットに装着



データ取得の流れ



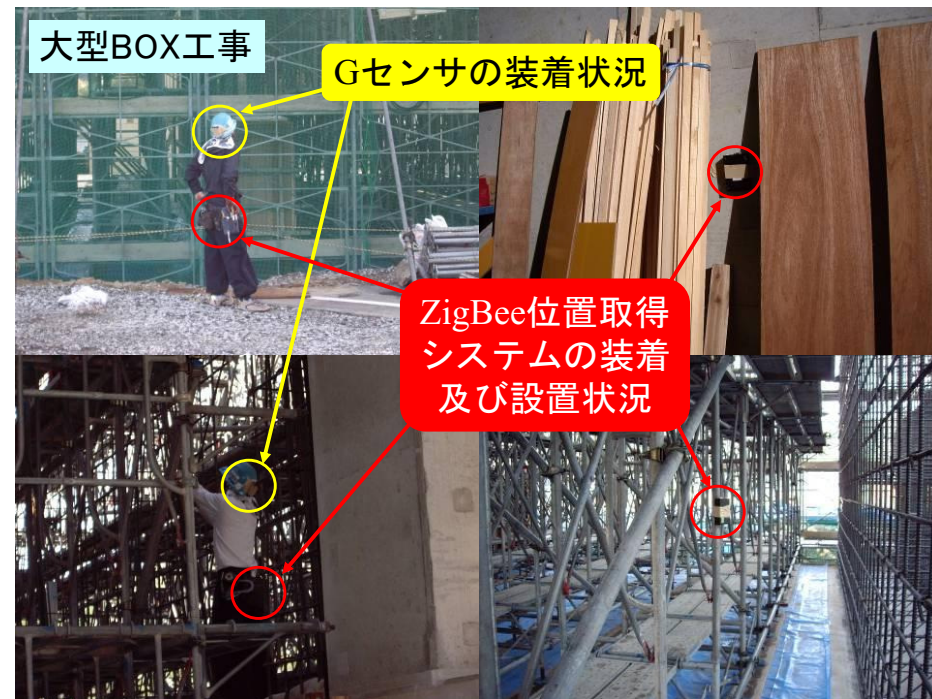
大型BOX工事



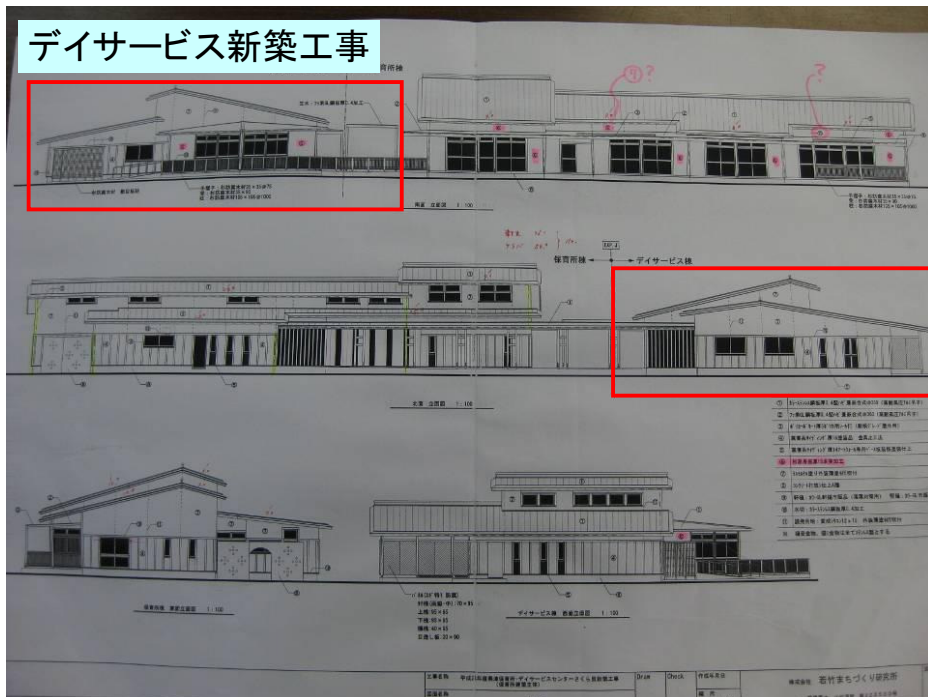
大型BOX工事



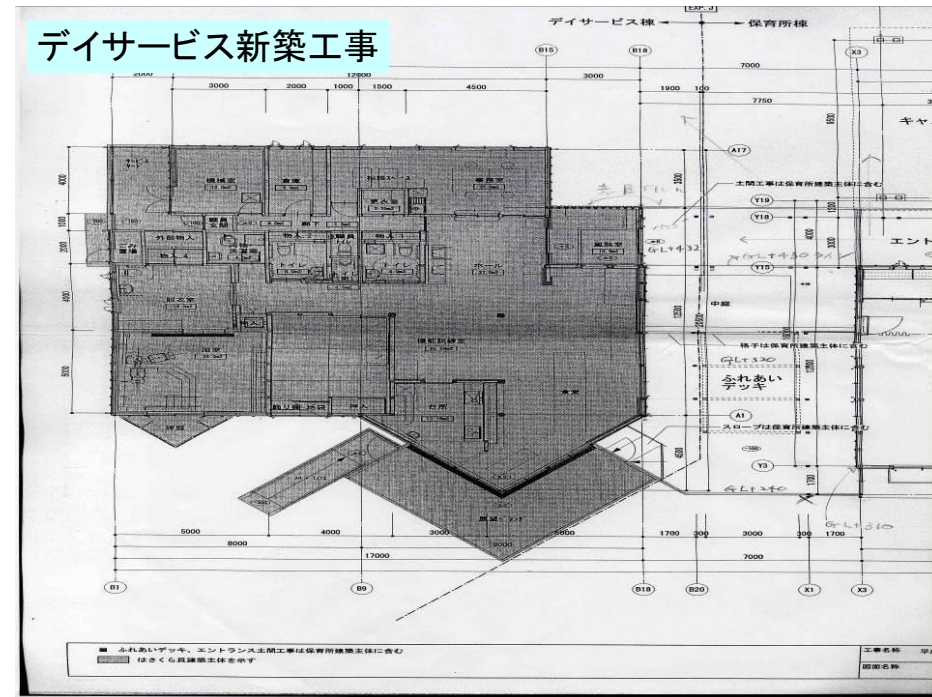
大型BOX工事



デイサービス新築工事



デイサービス新築工事



デイサービス新築工事



照明付近にZRを設置し、作業員の位置情報を取得

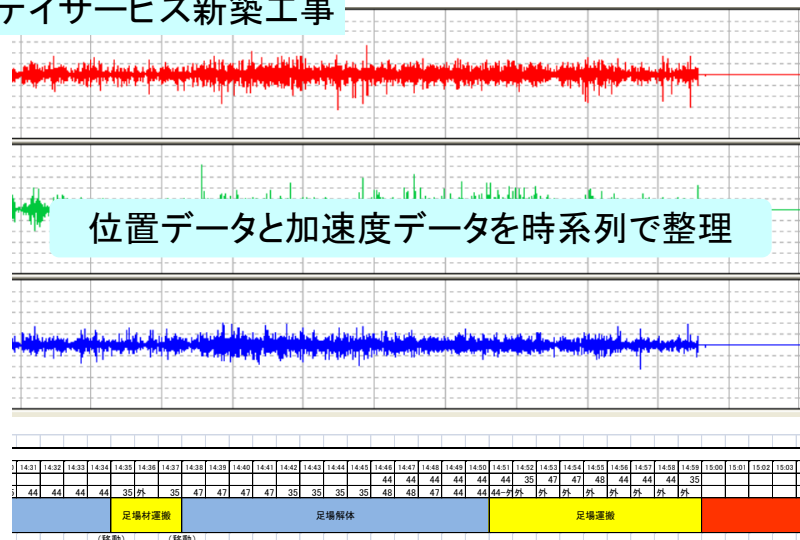
建設現場におけるZigBee位置取得システムの動作

足場や資材等が障害物となることが確認された

対処方法：ZRを各階に配置し、正確な位置を把握する

Gセンサーから得た加速度データとの統合

デイサービス新築工事



生産性管理データ収集・分析システム開発のフローと役割分担

青色：トアックの分担

作業員の位置情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発
- ・保存された受信記録から各発信端末の位置を推定するソフトウェアの開発

作業員の加速度情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発

位置情報と加速度情報を統合するソフトウェアの開発

「位置情報」「加速度情報」および「作業員属性情報」から、自動的に作業員の作業状況を判別するソフトウェアの開発

建設現場における移動実験

- ・手作業でのワークサンプリングデータ分析
 - ・自動的に得られたデータ分析
- 比較

建設現場における実験のデータ収集・分析

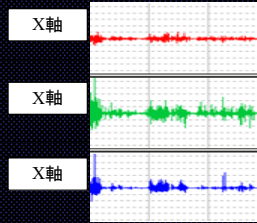
手作業でのワークサンプリングデータ

属性	時間	8:00	8:01	8:02
位置		ZR-1	ZR-2	ZR-3
作業内容		型枠組立	移動	型枠設置

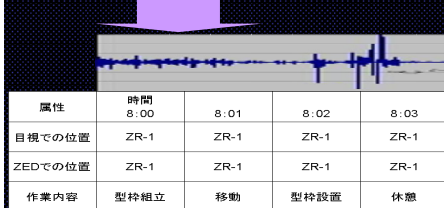
ZigBee位置取得システムを用い、得られたデータ

属性	時間	8:00	8:01	8:02
		ZED-1	ZR-1	ZR-2
			ZR-3	

Gセンサを用い、得られたデータ



位置情報の精度検証

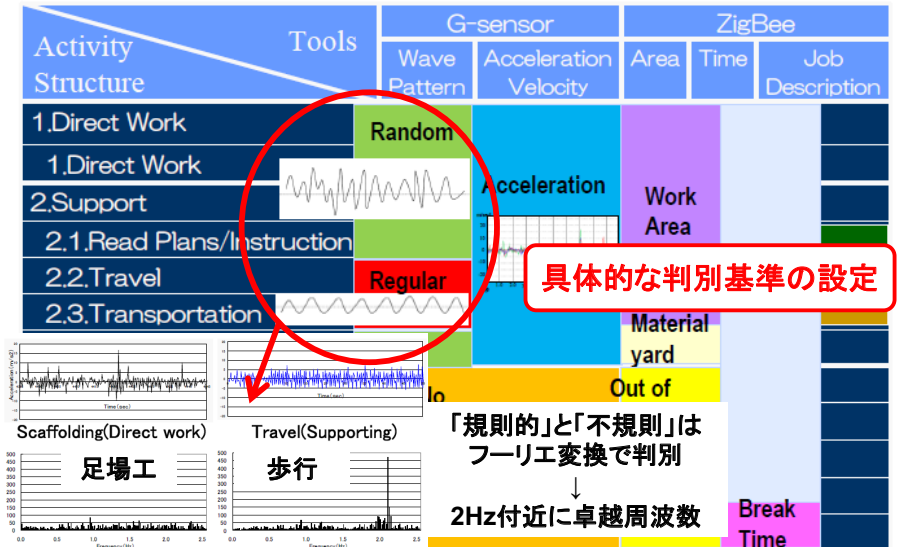


各データの統合から生産性分析を行う
生産性区分の判別基準の推定を行う

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)

判別基準の実用性検証

作業動作区分判別基準プロトタイプ (位置情報, 加速度情報, 作業員属性, 時刻から判断)



具体的な判別基準の設定

生産性管理データ収集・分析システム開発の フローと役割分担

青色:トアックの分担

作業員の位置情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発
- ・保存された受信記録から各発信端末の位置を推定するソフトウェアの開発

作業員の加速度情報を得るシステムの開発

- ・発信端末及び受信端末の開発

位置情報と加速度情報を統合するソフトウェアの開発

「位置情報」「加速度情報」および「作業員属性情報」から、自動的に作業員の作業状況を判別するソフトウェアの開発

建設現場における稼働実験

- ・手作業でのワークサンプリングデータ分析
 - ・自動的に得られたデータ分析
- 比較

作業動作区分判別基準プロトタイプの実用性検証 (現場実験)

実験日:平成22年3月11日
実験場所:高知県内の橋梁上部工工事
計測時刻:8:00~12:00

ルータ (ZR) の配置

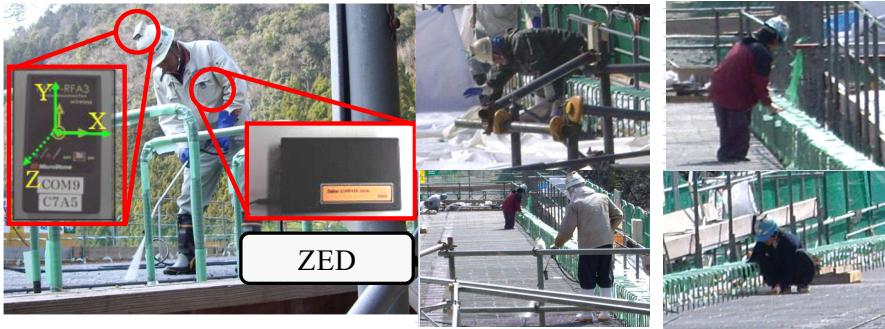


作業動作区分判別基準プロトタイプの実用性検証 (現場実験)

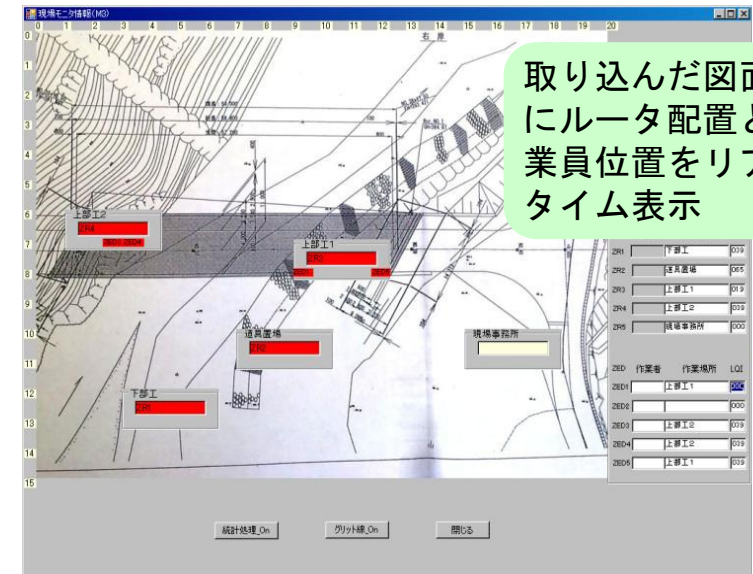
実験日:平成22年3月11日
実験場所:高知県内の橋梁上部工工事
計測時刻:8:00~12:00

5名の作業員にZEDとGセンサーを装着

三軸加速度センサー



位置情報表示ソフトウェアの開発



取り込んだ図面上にルータ配置と作業員位置をリアルタイム表示

位置情報の取得精度の確認

接続先	接続回数	接続先が最も近いルータでなかった回数
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
接続先が最も近いルータでなかった回数
最も近いルータへ接続した割合

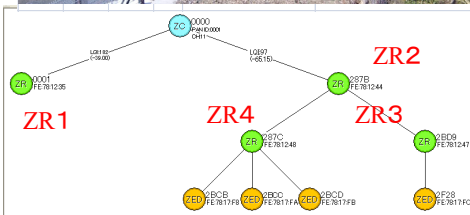
811 回
122 回
15%

<ZR2を除いたルータとの接続>
全ZEDの接続回数
接続先が最も近いルータでなかった回数
最も近いルータへ接続した割合

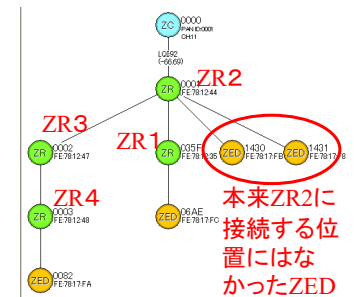
687 回
36 回
5%

85%の割合で正しい位置情報を取得

位置情報の取得ミスの原因



正しい位置データを取得できたときのZigBee接続ネットワーク

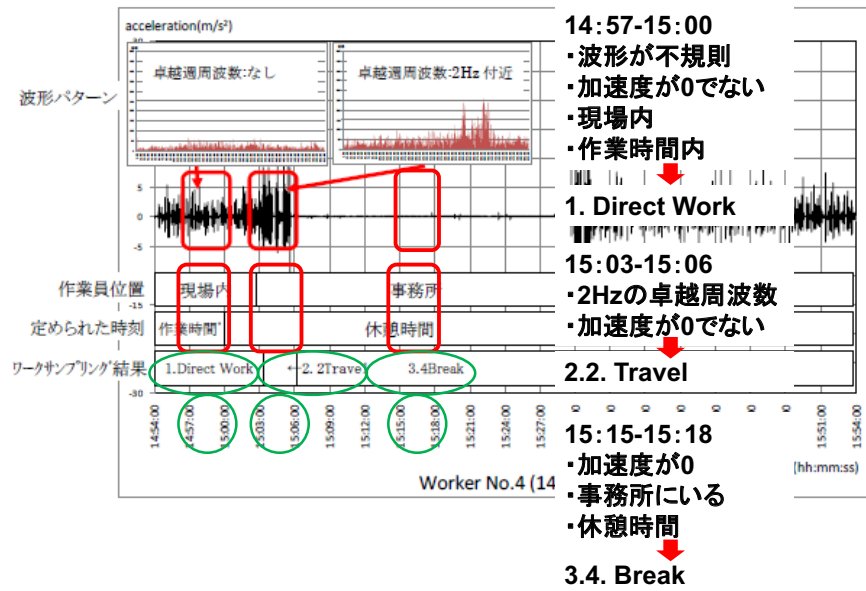


正しい位置データを取得できなかったときの接続

ネットワーク構築の際に早く認識された上流側のZR2と接続

ZRの接続を固定しておくことで解決可能

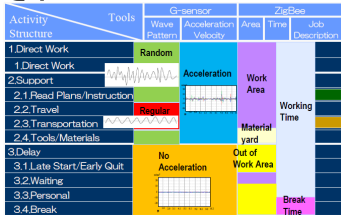
作業動作区分判別基準の実用性確認



作業動作区分判別基準の実用性確認

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)

2.3Transportationと3.2Waiting以外の区分が抽出された



実用性を確認

作業動作区分判別基準の改良

生産性区分	作業構成要素区分	加速度センサー	ZigBee
①直接生産動作 (Direct Work)		振動パターン 不規則な振動 卓越周波数:なし 卓越周波数:2Hz付近	加速度 平均: 1m/s ² 以上 または 最大: 2m/s ² 以上
②補助支援動作	②-1図面や指示の確認動作 (Read Plans / Instruction)	規則的な振動 卓越周波数:なし 卓越周波数:2Hz付近	位置 作業場所 (現場内)
	②-2作業員自身の移動動作 (Travel)	規則的な振動 卓越周波数:なし 卓越周波数:2Hz付近	時刻 作業時間
	②-3資機材の運搬動作 (Transportation)	規則的な振動 卓越周波数:なし 卓越周波数:2Hz付近	条件なし (作業場所でもそうでなくてもよい)
	②-4工具・材料の準備動作 (Tools / Materials)	不規則な振動 卓越周波数:なし 卓越周波数:2Hz付近	作業場所 (現場内)
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 (休憩時間直前・直後)
	③-2待機 (Waiting)		作業場所 (現場内)
	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)

3/11実験結果を踏まえた生産性区分判別基準のバージョンアップ

建設現場におけるデータ収集実験を継続実施

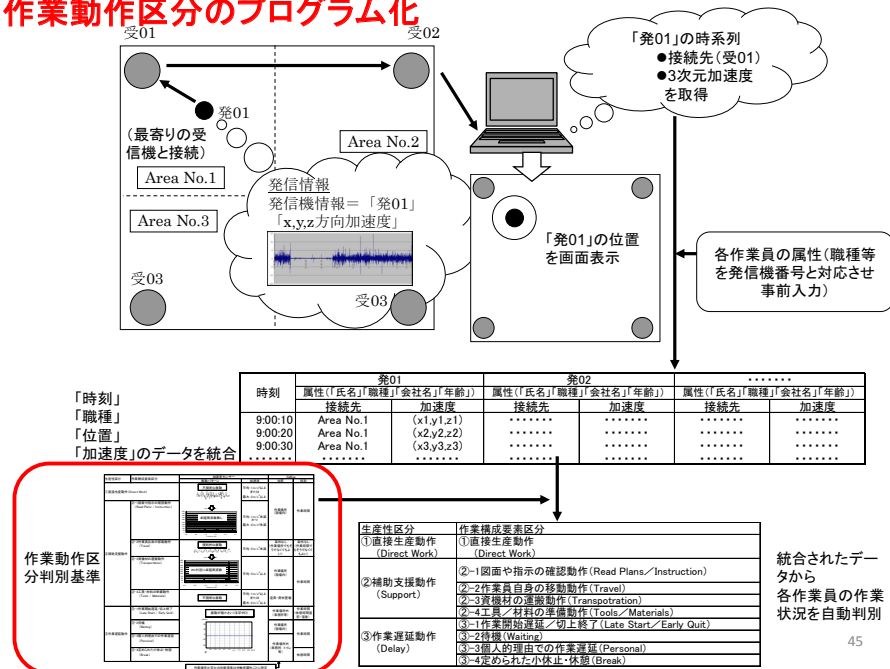
2009年度の成果

- ◆建設現場への適用に適したZigBeeを用いた位置情報取得システムの構築
- ◆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
- ◆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、生産性区分を判別するシステムのプロトタイプを構築
- ◆上記システムの実用性確認

継続実施

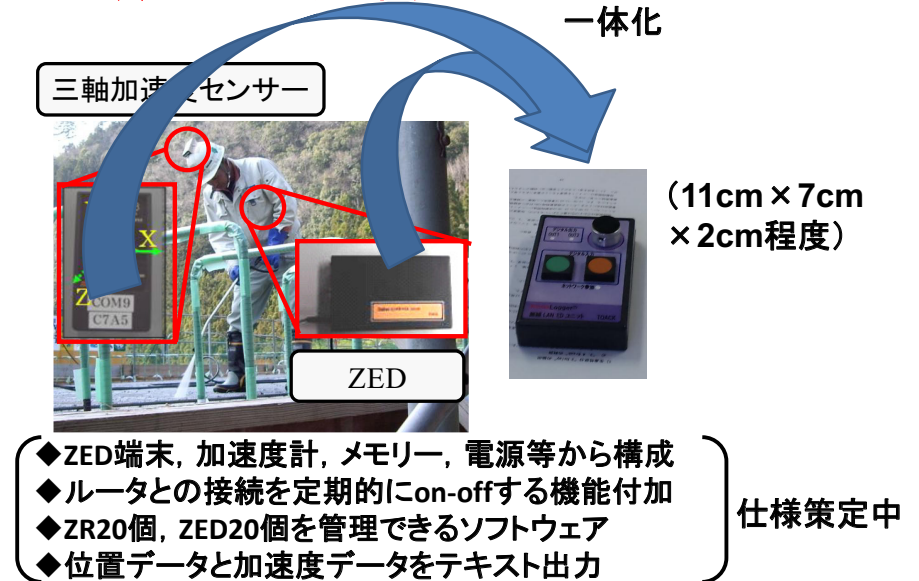
1. 現場実験による作業動作区分判別基準の改良
2. 作業動作区分判別基準のプログラム化
3. ZigBeeと加速度センサーを一体化した機器の開発

作業動作区分のプログラム化



ZigBeeと加速度センサーを組み合わせた測定機器の開発

機トアックとの共同開発



実際の現場における歩掛の測定

<先行研究の事例>

完成仕事量10m3のコン打設

労働者名	職種名	会社名	年齢	職務	作業時間(時間)	作業量
岡村 淳一	土木一般職	(有)井の原建設センター	40	20	3	2
岡村 淳一	特殊作業員	(有)井の原建設センター	45	45	2	2
都築 光広	特殊作業員	(有)井の原建設センター	40	20	2	2
都築 光広	特殊作業員	(有)井の原建設センター	40	20	2	2
原本 隆男	特殊作業員	(有)井の原建設センター	40	20	2	2
上清 孝幸	普通作業員	(有)サンヨーメンテック	60	40	1	2
岡田 博	普通作業員	(有)サンヨーメンテック	45	25	1	2



世話役0.75人(1名 × 6h/8h)

特殊作業員3人(4名 × 6h/8h)

普通作業員2.25人(3名 × 6h/8h)

$$\frac{\text{労働仕事量(Work force volume)}}{\text{完成仕事量(Work done Volume)}} = \text{生産性データ(作業歩掛)}$$

取得された歩掛の比較

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

ZigBeeを活用した新端末の測定データから取得

生産性向上を目的とした作業動作区分の測定

<先行研究事例※>

※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

CRAFT ACTIVITY ANALYSIS										
OVERALL PERFORMANCE BY DAY OF WEEK IN PERCENTS										
	DIRECT	PLN/INST.	TOOL/MTL.	TRANS.	TRAVL	L/S, E/Q	WAIT	PERSN	BREAK	TOTAL
MONDAY	39.7	4.9	4.1	4.7	13.5	2.0	19.6	5.8	5.7	100.0%
TUESDAY	41.8	4.6	4.8	3.9	10.8	1.6	18.8	6.9	6.8	100.0%
WEDNESDAY	40.6	4.6	5.0	4.3	11.5	0.4	20.3	7.4	5.9	100.0%
THURSDAY	37.5	5.5	4.8	5.4	15.1	1.6	17.6	8.0	4.5	100.0%
FRIDAY	35.8	3.4	4.7	4.4	17.6	0.4	22.8	7.1	3.8	100.0%
SATURDAY										
SUNDAY										
STDY. AVERAGE	39.1%	4.9%	4.6%	4.8%	13.8%	1.2%	19.2%	7.1%	5.3%	100.0%
*(AVERAGE)	(32.0)	(8.0%)	-(7.0%)	-(13.0%)	(6.0%)	(29.0%)	-(5.0%)	-(100.0%)		

石炭火力発電所における手作業の3ヶ月間のワークサンプリングで取得された, 曜日別平均値を示したもの

ZigBeeを活用した新端末の測定データから取得

曜日別, 職種別の生産性分析

まとめ

- ◆ 本システムの構築によって、生産性管理データを科学的手法によって収集・分析できることになる
- ◆ 建設産業の信頼性回復のために必要な“結果の管理”から“経過の管理”への移行が必要
- ◆ 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と考えている

ご清聴ありがとうございます