ウェアラブルシステムの造船作業計測への適用

正員 大和 裕幸* 小林 郁太郎**
 正員 白山 晋*** 正員 増田 宏****
 正員 榎本 昌一***
 学生員 西田 尚徳* 中村 智和*

Application of the wearable system to shipbuilding industrial engineering

By Hiroyuki Yamato, *Member* Ikutaro Kobayashi
 Susumu Shirayama, *Member* Hiroshi Masuda, *Member*
 Masakazu Enomoto, *Member*
 Hisanori Nishida, *Student Member* Tomokazu Nakamura

Summary

In this research, the application to the work measurement in shipbuilding was examined as a concrete application example of a wearable system. Authors made the work content input system that the worker input by using the voice recognition, the speech synthesis and the positional measurement system of the worker that used a magnetic frequency. They were processed with the computer that the worker wore. The work analysis of the current state could be done at once for the acquired data, and effectiveness was found as a prototype system of the work measurement in shipbuilding.

1. はじめに

造船業において CIM (Computer-Integrated Manufacturing) の導入が行われている。CIM では、設計部門と工作現場間など緊密な情報のやりとりが必要となるが、現状は依然紙ベースであり、より活用する方法が模索されている。

そこで本研究では作業現場への CIM のスムーズな導入のために、作業員へウェアラブルコンピュータ (WPC : Wearable Personal Computer) などの情報機器を導入することを考える。この WPC はコンピュータやネットワークの急激な発展に伴い、高性能化・小型化・軽量化が進んでいる¹⁾。Fig.1 は 1999 年に日本 IBM がオリンパスと共同で発表した WPC である²⁾。本体、

入力機器、ディスプレイ、ケーブル合わせて 597g と軽量である。

こうした携帯情報端末を利用することで、作業を通して得られる情報—例えば作業進捗状況—をネットワークを介して CIM 上に即座に取り込むことができると同時に、作業員に対して与えられていた作業指示や図面なども、その端末を通じて作業員に即座に届けることができる。また図面だけではわからない細かい作業指示や、現場と設計部門とのやりとりもその場で行うことも可能となる。

本研究ではまず作業員の情報を取り込むところに着目し、これまで作業改善を目的として行われていた観測者による作業計測を、作業員が身につける情報機器—ウェアラブルシステム—を用いて作業員自らが行うことで、観測者やデータ入力といったコストを抑えることを目的とした。また、このシステムの作成と模擬実験を通して、実用的な WPC の仕様を見出すことをもう一つの目的とした。

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科
 ** 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻
 *** 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻
 **** 東京大学大学院人工物工学研究センター

Fig.1 IBM Wearable PC

2. 作業計測システム

2.1 作業計測対象

本研究では造船工作におけるアイトレーサー(ET)という機械を用いた作業場面を想定した(Fig.2)。ETは、操作盤とアーム部、アーム部についたトーチから構成され、2m 四方程度の端材から数十 cm 四方の部材をガス切断して生成する機械である。ET は専任の作業員によって切断までの設定が行われ、その後、入力されたデータにより自動的に切断する。この専任の作業員の作業は、クレーンによる端材の作業台への設置、ET の操作、切り出された部材のパレットへの適切な整理といった手順を繰り返すものである。この作業員の作業計測を行うシステムを作成する。

Fig.2 Eye tracer

2.2 計測手段の検討

従来の作業計測手法では、観測者がストップウォッチ

を用いて作業員の作業内容計測、機械の作動計測を行う。これをワークサンプリング (WS) 法²⁾という。この方法では、観測者が必要とされ、計測したデータの加工にも手間がかかるという問題がある。

そこで、本研究の WPC を用いた作業計測システムでは、従来計測していた情報を観測者に頼らず作業員自身の入力により電子的に取得する。あわせて、機械の作動計測については自動化することにした。

また作業員の位置情報は、作業員への適切な情報提供を行う際に必要となるため、この作業員の位置計測も行う。位置計測にあたっては、作業場が屋内であり鉄板や機械に囲まれているので、比較的影響の少ない磁気波を用いたエリア判定による計測方法を採用する。

なお WS 法だが、これは稼働実態を調査して問題点を発見するために行うものである。この方法は、事前に設定した時間単位 (30 秒単位が使われやすい) 毎に観測対象を瞬時に観測することで、一人の観測者が多くの対象を観測でき、人の動き、共同作業、人と機械、工程と工程との関係等における改善に役立つ。この観測で分析された問題点に対してより詳細に分析するために、詳細な時間研究や各作業の連合作業分析などから、具体的な改善につなげてゆくことが行われている。

2.3 ハードウェア構成

作成したシステムのハードウェア構成を Fig.3 に示す。

Fig.3 Hardware system

本研究では、音声認識に ViaVoice (日本 IBM) を用いるので CPU: Pentium (Intel)、動作周波数: 333MHz 以上が最低稼働環境となり、2000 年 9 月時点で市販されている Xybernaut⁶⁾、ViA⁷⁾ の WPC では非力であった。そのため、市販のノート PC (松下: Let's note CF-B5R: Pentium III-650MHz、192MB、20GB、Windows 2000 (Microsoft)) で代用した。マイクとヘッドホンは作業

員が WPC と音声応答するために用いる。受信/送信タグは位置計測に使用する。また、外部の計算機で機械の作動計測を行う。

将来的に通信を利用してデータの受け渡しをするため、無線 LAN 等も用いたネットワークを構築した。

Fig.4 で WPC システムの装着の様子を示した。ノート PC をバックパックに入れて背負い、ヘッドセットを身につけた。受信タグについては、上部にテンキーを張り付けたポーチ型バッグに入れて肩からかけた。

Fig.4 Wearing of hardware

2.4 作業内容計測ソフトウェア

作業内容計測は、作業員による音声入力を採用した。音声認識・音声合成機能は ViaVoice を使い、Visual Basic (Microsoft) でアプリケーションを開発した。

開発したアプリケーションのシステム図は Fig.5 である。キーワードによる音声入力部とテンキーによる補助入力部、入力などに対する音声応答部、入力したデータと時刻をファイルに書き出す部分で構成されている。

本研究で作成した部分は、ViaVoice による音声認識とキーワードとの合致の有無、応答のための会話を ViaVoice の音声合成エンジンへの橋渡しする箇所、記録内容について時刻情報を付加してファイルへと書き出す箇所、テンキーによる入力受付、確認用の画面表示部分である。

本アプリケーションの動作の流れについて説明する。

(a) キーワードを使った音声入力、テンキーによる入力の待機。

キーワードはワークサンプリング時に使われるものを文献[2]より引用した。このキーワードの分類は、意味のある作業として最小の単位を使っており、たとえば「寸法チェック」「機械セット」「クレーン」といったものがこれにあたる (Table.1)。

(b) 音声入力キーワードに合致するか、テンキーにより作業番号を入力すると、確認用の応答が音声で作業員に伝達される。

この音声は音声合成エンジンにより生成され、作業員にイヤホンを通して伝達される。実際には「～で良いですか? OK,か,キャンセル,でお答え下さい」と音声で伝えられる。

(c) 「キャンセル」という発声が認識されると(a)に戻る

(d) 「OK」という発声が認識されると、(b)と同様に「終了したら OK と言ってください」と音声で作業員に伝達される。

(e) 「OK」という発声が認識されると、その時点での時刻を作業終了時刻とし、前作業終了時刻を作業開始時刻として、作業内容(キーワード)と共に記録する。(a)に戻る

Fig.6 は実際に作成したアプリケーションについて、確認用に画面に表示しているものである。上部に大きく占めるのが入力された内容を表示する部分で、下部の作業番号入力欄、記録ボタンにより、テンキーによる入力を受け付けている。

Fig.5 Work measurement system

Fig.6 Work input window

Table.1 Keywords for work sampling

ガス切断	グラインダー	機械スイッチ	ペン書き
寸法チェック	ノロ取り	機械セット	電線段取り
部材運搬	部材整理	運搬	寸法表チェック
歩行	掃除	クレーン	監視
材料待ち	作業指示待ち	作業打ち合わせ	故障待ち
設備メンテナンス	中断	トイレ	管理時間
指導	改善		

また、作業内容計測の中で、部材名計測(マーキング計測)を行う機能を加えた。Fig.7 に示すように、生成された部材名とその個数を時刻とともに記録する。

Fig.7 の図中右下に表示している番号と部材名の対応は、部材名をテキストファイルで用意したものを読み込み、番号を自動的につけることで作成される。

この入力モードは、動作の流れ(b)において「マーキング」というキーワードが入力されると、入ることができる。同様に動作の流れについて説明する。

(f) 音声入力、テンキー入力待機

(g) 「(数) 番を (数) 個」というキーワードを認識するか、テンキーによる入力を受け付けると、確認用の応答が音声で作業員に伝達される。実際には「(数) 番の部品を (数) 個マーク」と流れる。

(h) 認識された時刻が、部材名、個数と共にファイルに記録される。(f)に戻る。

また、(f)において「リスト」という発声が認識されると、Fig.7 の部材名入力画面中の右下に表示されている部材番号と部材名を対応させた表を、音声で読み上げて作業員に教示することができる。

「終了/おわり」という発声が認識されることで、この部材名入力モードを抜けて作業内容入力モード (a) に戻るることができる。

Fig.7 Material name input window

2.5 位置計測システム

位置計測に磁気周波数を使い、Table.2 に示す仕様のコイルを用いた (Fig.8)。このコイルに対してファンクションジェネレータで固有の周波数を設定し、アンプで増幅して磁気波を出力する。このコイルを送信タグと呼ぶ。このコイルの付近に、受信コイル(作業員が装着しているコイルで、これを受信タグと呼ぶ)が近づくと誘導起電力により同周波数の電圧が生じる。これを WPC に入力して計測する。周波数の異なった複数の送信タグを要所に配しておくことで、どのタグの近辺にいるのかを判定することができる。

Table.2 Specification of coil

仕様項目	諸元
材質: 芯、線	フェライト、銅
芯のサイズ	長さ: 7cm、直径: 1cm
コイルの長さ	7cm
銅線の太さ	0.1mm
巻き数	約 2 万
自己インピーダンス	7.5H (ヘンリー)
共振周波数	約 3kHz
電圧最大	150V
消費電力	不明 (アンプの消費電力を含むため)
送受信最大距離	約 2m

Fig.8 Coil for positional measurement

WPC 上では LabVIEW(National Instruments)を用いて周波数解析、計測データ書き出しを行う。

2.6 機械作動状態記録システム

対象とする機械である ET のトーチの状態(On/Off)と ET の状態(切断/停止)を計測する。本研究のシステムでは、模擬実験において ET のトーチを豆電球で模したため、この豆電球のスイッチによる電圧変化を AD ボード

を通じて計算機に取り込み、1 秒ごとの時系列データとして記録する。

3. 作業計測実験

3.1 実験の内容

東京大学工学部 3 号館地階の実験室に 2.1 で設定した場面を再現した。その風景が Fig.9 である。ET のガストーチ部を豆電球、操作盤をスイッチで模し、端材を段ボール紙で代用した。広さは幅 8m 奥行 10m で、参考とした三菱重工香焼工場の作業場の約 3 分の 1 である。

実験では Fig.10 に示す 2 種類のレイアウトで模擬作業を行い、それぞれについて作業員が WPC を装着して 15 分間の作業計測を行った。Layout 1 は参考とした三菱重工香焼工場のレイアウトを模したもので、図上部より図下部に向かって加工の流れがある。Layout 2 は作業員の移動距離を極力減らすことを目的に考えたもので、作業員は基本的にアイトレーサーを中心に図中で左右方向に短い移動をするだけでよい。

なお Fig.10 の A~G, A~J は作業員の存在場所を検知することができる感知エリアを表す。作業員の移動の様子を調べるためには、実験室の広さやアイトレーサーの間隔から図のような送信タグの配置で十分と考えられる。ただし本実験では送信タグが 2 個しか用意できなかったため、それらを図中の A, B に設置し、C~G, C~J についてはカメラ映像から位置情報を人為的に付け加えた。

Fig.9 Mock experiment scenery

Fig.10 Layout for experiment

3.2 作業内容計測データの利用

作業内容計測については、従来の WS 法と同等の分析を行うことができた。Fig.11 に示す稼働率分析の円グラフでは、各作業にかけた時間の割合を抽出し比較することができる。ここでは 2 つのレイアウトにおいて、各作業の割合に差異は見られない。

Fig.11 Operation rate analysis

そこで一つ一つの作業自体の時間を俯瞰するために作成したのが、作業内容の時系列のグラフ Fig.12 と Fig.13 である。端材の場所の違いから、クレーンで端材を作業台に運ぶ作業に注目すると、Fig.12 では図中の 1, 2, 3, 5, 7 番、Fig.13 では図中の 1, 2, 3, 4, 6, 8 番がその作業にあたる。なお、Fig.12 の 4, 6, 8 番、Fig.13 の 5, 7, 9 番は、端材から部材を切り抜いた後に残る枠板を廃材置場にクレーンで運ぶ作業である。

端材を作業台に運ぶクレーンの一回当たり作業時間を比べてみると、実験 1 (Fig.12) では 27.4 秒、実験 2 (Fig.13) では 22.5 秒となり、おおよそ 2 割、時間にして 1 回あたり 5 秒もの時間が短縮されていることがわかる。

作業内容の時系列(レイアウト1)

Fig.12 Time series of the work content in Layout 1

作業内容の時系列(レイアウト2)

Fig.13 Time series of the work content in Layout 2

3.3 位置情報の利用

Fig.10に示すLayout 1とLayout 2のそれぞれについての模擬実験では、模擬作業が進むにつれて作業の順序が異なってくる。そこで、移動に最も時間がかかるクレーン作業によって同数の端材を運ぶ間について、総移動距離を比較してみた。

移動距離としては、各エリアの中心位置を直線で結ぶパスの長さを基準にとり、ETが障害になる場合は、ETの外側、作業台から2mの位置に通過点を用意し、通過点を通るパスを定義した。

実際には実験開始から10分38秒までを範囲として総

移動距離を比較すると、実験1では10377cm、実験2では9868cmとなり、約10分間で5m、割合にすると5%の差異が見られた。

3.4 マーキングデータの利用

作業計測実験を行っている途中で、他の計算機からネットワークを通じてWPC上のマーキングデータを参照することができる。例えばTable.3に示すデータが得られ、これにより作業の進捗度合いを知ることができる。

Table.3 Example of marking data in Layout 2

部材名	個数	記入時刻
AABB-0045	6	0:04:13
AABB-0203	3	0:05:51
AABB-0203	6	0:08:01
AABB-0908	6	0:08:22
AABB-0203	3	0:08:41
MMDD-1034	6	0:13:33
AABB-0204	8	0:14:26
AABB-0669	1	0:14:32

4. 考察

4.1 音声入力について

音声入力による作業内容計測は、作業員本人の息や環境音による誤入力が少なく、適切な入力を可能にした。キーワード入力による入力の制限が有効に機能したと考えられる。ただし、前後に余計な発声をする認識はされることが多く、屈んだ姿勢では認識率が低下したが、テンキーによる補助入力を併用して対応することができた。

声による作業確認が産業現場では日常的に行われているため、音声による作業内容入力は作業員にとって違和感がなく、かつ作業を中断しない。

ただし実環境では実験室よりも環境音の音量が大きく、音声入力が同様に機能するかどうか検証をする必要がある。

4.2 作業内容計測について

作業内容計測アプリケーションは、今回作成したものでは計測対象に応じて個別に作成する必要がある。今後、多様な作業計測に活用できるようにアプリケーションの設計を検討する必要がある。

さらに、現在の部材名計測では部材情報を予め作成する必要があるが、今後は CAD で作成した設計情報の利用が考えられる。

4.3 位置計測について

位置計測では、作業場所を特定するために十分な 1m 強の範囲でのエリア判定ができた。ただし、これらのタグ自体が非常に高価であり、設置にも電源確保などの問題が生じる。実際の造船の作業現場では、より劣悪な環境となるため、動作の検証も必要となる。

位置計測アプリケーションは LabVIEW 上で構成しており、送信タグの配置と周波数の設定の関連づけに手間を要する。これを容易に設定できるアプリケーションを

開発することで、多様な環境での位置計測に柔軟に対応することを考える必要がある。

4.4 WPC の機能について

本研究では、Windows2000 上で ViaVoice8 と LabVIEW6i といった汎用のソフトウェアを用いてシステムを構築しており、これらが動作するのに十分なハードウェアの仕様が要求される。これには Pentium で動作周波数 500MHz 程度が必要とされる。

また同時に、産業現場で使用する際には作業員の安全に留意する必要があり、作業員が身につけている治具類と比較して適切な大きさや重量の設計が望まれる。

また、作業員は一日の作業の中で半日おきに休憩のため必ず事務所へ戻ることから、最低でも半日は持続するのに必要なバッテリー容量が、省電力化が必要である。

5. 結論

本研究ではウェアラブルシステムを産業現場へ応用する一例として造船における作業計測を行うプロトタイプシステムを作成した。

作業計測システムを、ノート PC と音声入出力装置、磁気による位置センサによって構成し計測アプリケーションを作成した。これにより、現状の観測者による計測と同等な情報収集と分析を行うことができ、さらに位置情報を加えた多様な分析を可能にした。これらを用いた実験を行い、システムの検証を行った。

また、システムの検証作業を通して、WPC として前述の作業計測システムを構築するために必要な機能・仕様を整理した。

- ・ 音声入出力のインタフェース
- ・ センサ入力のインタフェース
- ・ 音声認識やセンサ情報の解析を行うためのプロセッサの動作周波数が 500MHz 以上。
- ・ 作業員の安全に影響を及ぼさず、他の治具と比較して適切な大きさ・質量や使いやすい操作性
- ・ 5 時間（半日）の連続稼働を可能とするバッテリー容量

今後、この作業計測システムを土台として、音声・テキスト・画像・CAD データ等を用いた作業指示・作業支援システムを造船工作に合わせた形で検討していきたい。

また、本研究から着想を得たものとして、PHS を利用した作業計測システムがある。これは音声認識エンジンとしてテレフォニータイプのものをサーバ側で用意し、

PHS による通話で作業内容を入力していくというものである。

このように WPC に限らず他の携帯情報端末や通信を組み合わせたものも含め、産業現場での様々な情報端末のあり方について検討していきたい。

謝 辞

(株) 日本能率協会コンサルティングの森本晋氏には造船業における IE について、多くのご教示をいただきました。

東京大学大学院の松島克守教授、日本 IBM (株) の亀井彰志氏には、本研究を始めるきっかけとなるウェアラブル PC の試作品を貸していただきました。

三菱重工業 (株) の苑田義明氏、佐々木裕一氏、香焼工場の吉田淳児氏、島本和美氏には資料、ET、造船所の技術等についてアドバイスしていただきました。

東京大学大学院の板生清教授は、筆者らをウェアラブルコンピュータの利用へとお導きくださいました。

各位に感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- [1] (社) 日本時計学会：ウェアラブル情報機器の実際、オプトロニクス社 (1999)
- [2] 森本晋：造船 IE～標準時間システム導入の土壌整備として～、(株) 日本能率協会コンサルティング (2000)
- [3] 人見勝人：入門編生産システム工学第 2 版、共立出版 (2000)
- [4] Steve Mann : Keynote Address entitled "WEARABLE COMPUTING as means for PERSONAL EMPOWERMENT", presented on Wearable Computing ICWC-98(1998)
- [5] Mark Billinghamurst and Thad Starner : Wearable devices: new ways to manage information、IEEE Computer Vol.32 Issue.1, pp57-64, 1999
- [6] Xybernaut : web site <http://www.xybernaut.com/>
- [7] ViA inc. : web site <http://www.via-pc.com/>
- [8] 日本 IBM 株式会社、オリンパス光学工業株式会社
ウェアラブル・パソコン、web site
<http://www.olympus.co.jp/LineUp/HMD/pcet.html>
- [9] 茂木学、武藤伸洋、中村幸博、片山幸久、小阪朋也：情報共有とコラボレーションを目的としたマルチメディアドキュメンテーションの検討、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集、2P2-39-049