

ユーザの手動操作を活用する非産業用スタッククレーン  
-ユーザのメンタルモデルを記述する拡張 SysML による操作性向上の研究-

福井 類<sup>\*1</sup>, 上阪 周平<sup>\*1</sup>, 佐藤 知正<sup>\*1</sup>, 下坂 正倫<sup>\*1</sup>

**Non-Industrial Stacker Crane Utilizing Human Manual Operation  
-Operability Improvement with Extended SysML  
describing the Mental Model of Users-**

Rui FUKUI<sup>\*1</sup>, Shuhei KOUSAKA<sup>\*1</sup>  
Tomomasa SATO<sup>\*1</sup> and Masamichi SHIMOSAKA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Department of Mechano-Informatics, the University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan

This research aims to develop a novel drawing method for describing mental model of users in designing human cooperative robots. We propose a user model diagram as an extended SysML (System Modeling Language). In the user model diagram, which is based on a state machine diagram and an activity diagram of SysML, behaviors of a robot system observed by users are drawn on a parallel with actual behaviors of the robot. As application of our proposed system design tool, we select a pre-developed non-industrial stacker crane, which stores/retrieves a container by human's manual operation. To improve the instrument, some sensors are newly installed and control software is upgraded based on the drawings of the extended SysML. A usability test is conducted to reveal the correlation between the drawings and the actual performances of the modified stacker crane. The results of the usability test confirm that the extended SysML can be a superior tool to predict operational errors and improvement of operability.

**Key Words** : Manual operational instrument, Extended SysML, Human-robot symbiosis, Mental model

## 1. 緒 論

店舗や家庭など、非産業空間で人間を支援するロボットはその空間で暮らす人間と協調することが求められる。我々はこれまで日常生活で物品の収納を支援するツールとして、図1に示す電気駆動と手動操作が切替可能な非産業用スタッククレーンを開発してきた。本装置はコンテナを搬送し、壁面に固定された壁掛け金具にコンテナを掛けることを目的としている。そして人間との協調性と生活空間への導入しやすさという観点から、人間の手動操作を基本とし、アクチュエータを後付することで電動化も可能な構成となっている。先行研究<sup>(1)(2)</sup>では、手動操作を実現する位置決め誤差吸収性能の高い壁掛け金具と人間の駆動力を装置に円滑に伝える機械構成を提案し、性能評価試験によって電動手動共に、各自由度の操作において十分に目標に位置決めが可能であることを確認した。

我々は後付ロボットという新しい概念を提案し、メ

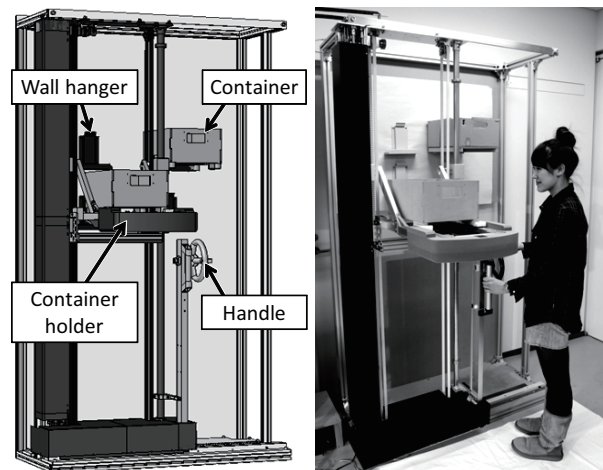


Fig. 1 Snapshot of the non-industrial stacker crane.

カニズムとして2自由度を共通化し、複数の操作をハンドルを持ち替えることなく操作可能な機械構成を実現した。これはこれまでのロボットでは実現できなかった人間が装置の制御と駆動の一部を受け持つことで装置を簡略化する、ということを実現する優れた枠

<sup>\*1</sup> 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1) {fukui, kousaka, tsato, simosaka}@ics.t.u-tokyo.ac.jp

組みであった。一方で提案した機械構成の中で、人が手動で多自由度の機械を操作する場合、ユーザがその機械構成について熟知をしている必要があり、機械設計者ではない一般的なユーザにとっては、その操作の習熟に時間を要するという問題があった。

そこで本論文では、我々が提案した機械構成のユーザビリティを向上させる取り組みについて述べる。ユーザビリティを向上させるデザインにおいてはシステムが本来持っているモデルとユーザがシステムと接しながら頭の中に構築する、システムに対するメンタルモデル（ユーザモデル）を一致させることが重要であると言われている<sup>(3)</sup>。ソフトウェアのユーザインタフェースの構築に関しては、GUIを設計する上でユーザの入力傾向からユーザの意識に合致した階層構造を構築する研究<sup>(4)</sup>の他、体系的に構築を目指す手法としてソフトウェアモデリング言語 UML (Unified Modeling Language) の拡張版を用いて、ユーザとシステムの相互作用を表現する取り組みが進められている<sup>(5)~(7)</sup>。

しかし、これまでハードウェアも含めたシステムの構造や挙動をモデル化を通して設計する技術的手法は、フローチャート<sup>(8)</sup>や MATLAB SimMechanics<sup>(9)</sup>等々に紹介されているが、ユーザのメンタルモデルを体系的にモデル化もしくは記述する手法は提案されていない。そこで本研究では機械システムの仕様及び挙動をモデル化する SysML (System Modeling Language)<sup>(10)~(12)</sup>を拡張し、ユーザモデルを描画する手法を実現する。本研究ではこのモデル化手法を拡張 SysML と呼ぶ。

この拡張 SysML を用いて、先行研究で開発をした非産業用スタッククレーンの複数の改良案をシステムモデル・ユーザモデル双方の側面からモデル化し、さらに改良案を実機に適用することで、ユーザビリティの評価を行う。これによって拡張 SysML により記述されるシステムモデル及びユーザモデルと、実際に実現される装置性能（ユーザビリティ）との関係を明らかにし、拡張 SysML がどのように人間との協調を必要とする機械の設計に利用できるかを示す。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では提案する拡張 SysML によってユーザモデルを記述する方法について論ずる。第3章では先行研究で開発した非産業用スタッククレーンの概要について述べ、従来型の操作系の課題を挙げる。第4章では装置の改良点について論じ、その改良によってユーザモデルがどのように変化するかについて述べる。第5章ではユーザモデルと実機の操作性の関係性を確認する試験として、改良された装置のユーザビリティを検証する。第6章は本論文の結論である。

## 2. 拡張 SysML によるメンタルモデルの記述

### 2.1 SysML の概要

SysML はハードウェアとソフトウェアが混在した複雑なシステムを定義、分析、設計、評価するための図を表記する規則を定義した図式モデリング言語である。SysML は要求仕様の定義、構造の記述、内部処理の流れの記述、など目的の異なる9種類の図からなっている。

これらの図の中でユーザが明確に現れる図は、ユーザが外部からみたシステムの振る舞いを表すユースケース図と、時系列に沿ってシステムの各部位とユーザのやり取りを記述するシーケンス図である。しかし、ユースケース図はあくまでもユーザがシステムに対して為すおおまかな行動の列挙にすぎず、シーケンス図でのユーザは一連のシーケンシャルな操作の一部としての描写に留まっており、操作中のユーザのシステムに対する意識までは描写できていない。

### 2.2 SysML の拡張によるユーザモデルの記述

本項で SysML におけるユーザモデルの記法を提案する。我々の提案するユーザモデル図は SysML のステートマシン図とアクティビティ図を基にしている。

ユーザモデル図ではシステムの実際の挙動（システムモデル）と、ユーザにとってのシステム挙動（ユーザモデル）を並列して描く。処理の流れは正規の操作の過程では原則的に上から下へ直線的に記述し、ユーザが現在の動作を取り消して前の状態に戻る際は再帰的に表現し、不正な処理によるエラーが発生した場合は通常処理から脇にそれて記述することで不正な状態であることを強調する。

図2に提案する拡張 SysML の作例を示す。これは過去に実際に起こった自動操縦装置とユーザの意識の乖離が原因の航空機事故の過程を表記したものである<sup>(13)</sup>。この墜落事故は垂直速度モードを用いて上昇させていた機体が、事故発生時天候と機体重量が原因で所望の上昇率が得られず、ソフトウェアの仕様により自動で高度維持モードに切り替わってしまったために起こった。これは提案する拡張 SysML を用いて考察すると、パイロット（ユーザ）がシステムの仕様に関する情報を十分に与えられていなかったために、システムモデルとユーザモデルの間にユーザの意図しないモード変更による齟齬が発生し混乱を招いた、といえる。

システム側が出力する情報とユーザが受け取る情報の対応が取れていることが、この図の記法の基本となる。但し、ここではユーザが正しく情報を受けているかまでは言及せず、条件分岐が進むことがユーザが情報を受け取ることでありと記述するに留める。現実的には、ユーザが正しく情報を受け止めるかは装置の詳細

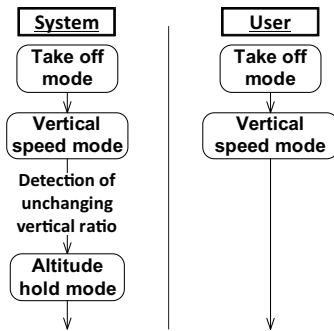


Fig. 2 Example of proposed extended SysML: Deference between the system model and the user model during an aviation accident.

細なデザインに拠るところが大きく、一方で現実に装置の利用において条件分岐に問題があったときに、システムとユーザとの情報共有に問題があったことが、この表記により明らかになる。

### 3. 非産業用スタッククレーンの概要と問題点

**3.1 非産業用スタッククレーンの概要** 我々が提案する非産業用収納システムは、棚に替わる収納装置である壁掛け金具と電気駆動に拡張可能な手動操作型スタッククレーンから成っている。手動操作型スタッククレーンはコンテナの昇降と挿入の2自由度の駆動機構を共通化し、一体の動力伝達系を構成している。

ユーザが装置の操作を行うハンドルと液晶モニタの概観を図3に示す。液晶モニタは現在の装置の状態と各方向の現在位置を表示する。装置を駆動していてコンテナの設置/取り出しが可能な位置に達するとモニタにその事が提示されるため、それを判断材料にユーザは各方向の制御を行うことができる。左右駆動においては左右駆動用ハンドルを握って装置を動かし、上下駆動と挿入においては上下駆動/挿入用ハンドルを回すと、2自由度共通化機構が駆動される。

コンテナを壁掛け金具に設置する過程を図4に示す。コンテナ設置の際の具体的な操作は以下のとおりである。(1) 装置を左右にスライドさせてコンテナの

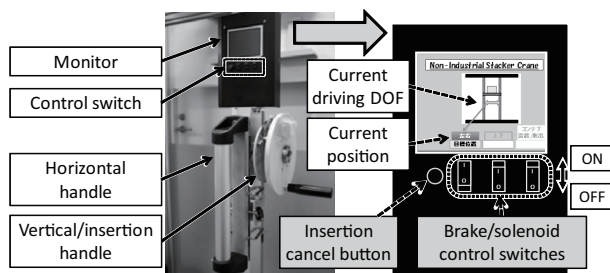


Fig. 3 Overview of the handle and the monitor.

ある位置に合わせる。(2) 昇降ブレーキを解除しコンテナを上げて、コンテナを設置できる高さに位置を合わせる。(3) 挿入ブレーキを解除しコンテナを挿入する。(4) 昇降ブレーキを解除しコンテナホルダーを下げて壁掛け金具にコンテナを掛ける。(5) 挿入ブレーキを解除しコンテナホルダーを引き戻す。反対に壁掛け金具にかかったコンテナを回収する際は、過程(2)でコンテナを取出せる高さに位置を合わせ、過程(4)で設置とは逆にコンテナホルダーを上げて壁掛け金具のコンテナをすくい上げる、という流れとなる。

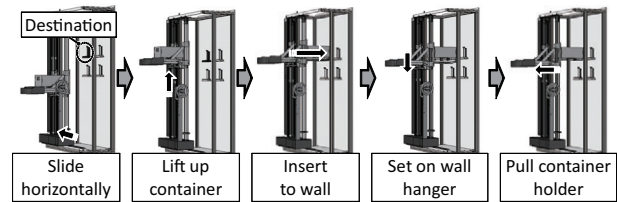


Fig. 4 Operation sequence of a storing motion.

### 3.2 システムの問題点

**3.2.1 問題点 1: システムの認識できないエラー** 従来のシステムにおいては、システムが検出できず操作中のユーザしか検出できない操作のエラーがある。

従来のシステムではユーザがコンテナの設置と取出どちらを行っているかシステム側は知ることができない。よって上下方向の駆動中にモニタでユーザに現在位置を伝える際に、コンテナを設置するために必要な位置情報と取出するために必要な位置情報の両者を提示せざるをえない。それゆえ、例えばコンテナを設置しようとしているにも関わらず、ユーザが情報を取り違えてコンテナを取出すための場所からコンテナを挿入してしまうと壁掛け金具と挿入中のコンテナが衝突するというエラーが起こりうる。このエラーはシステムには検出できず、ユーザのみが異常に気付く。拡張SysMLでこの現象を表現したものを図5に示す。ユーザモデルとシステムモデルの間に、ユーザが認知するエラーという差異が生じていることが分かる。

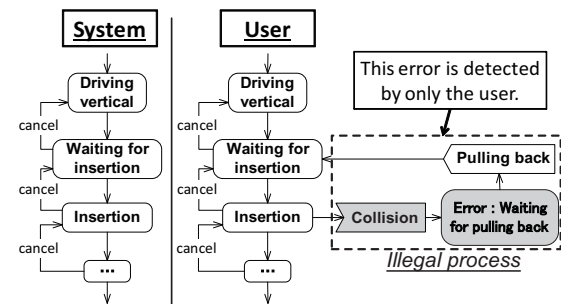


Fig. 5 User model diagram of unintentional collision for the system.

**3.2.2 問題点 2:煩雑な操作方向の切替** 本装置の機構設計ではコンテナの設置/取出を行う際に、コンテナホルダーを挿入 → コンテナホルダーを下降/上昇 → コンテナホルダーを引き戻す、というシーケンシャルな動作が求められる。この過程でユーザは装置を駆動しながら細かな位置決めと操作方向の切替を短時間に繰り返し要求される。これはシステムになじみの無いユーザにとって混乱する要因となりえる。また、システムになじんだユーザにとってもストレスの大きい作業と推測される。

**3.2.3 問題点 3:装置になじみの無いユーザの意識とシステム間の乖離** 現行の操作方向の切替をモニタ上のスイッチで行うシステムでは、操作になじみの無いユーザにとって「操作したい方向のスイッチを入れる」と「スイッチに対応する方向のブレーキが外れて駆動可能になる」という現象を理解するために時間を要する。また操作を行うために逐一モニタのスイッチを入力する行為は、システムになじんだユーザにとっても煩わしく感じられると考えられる。

#### 4. 非産業用スタッカクレーンの改良

**4.1 改良案 1:コンテナを認識するセンサの追加** 不正な位置にコンテナホルダーを挿入してしまうエラーを回避するために、コンテナホルダー上にコンテナの存在を認識するフォトフレクタを増設する。これによりシステムはユーザがコンテナの設置と取出のどちらをしているかを認識可能となり、ユーザが現在行っている行為に必要な無い情報の提示を排除できる。

**4.2 改良案 2:ユーザの先回りをするシステム** コンテナの設置/取出の際に発生する煩雑な位置決めと操作方向の切替を軽減するために、システムがユーザに先回りして自動で操作方向の切替を行うシステムを考案した。このシステムではコンテナの設置/取出が可能な位置で装置を一定時間(今回は2秒と設定)止めていると、システム側はユーザが現在位置にコンテナの設置/取出を望んでいる、と判断し自動でコンテナホルダーの挿入を開始する。コンテナホルダーの挿入が始まってからは、2自由度駆動機構の挿入方向と上下方向の切替を、目標位置に到達し一連の操作が達成される毎に自動で次の操作方向に切り替える。これにより一連の操作で細かな位置合わせと操作手順の詳細の記憶が不要となった。

一方で本システムによって新たなエラーが発生する。コンテナホルダーを挿入した以降の一連の操作では操作方向切替の手順は一通りでユーザに選択の余地はないが、挿入を始めるか否かの選択においては、ユーザが挿入を望んでいない位置でも一定時間挿入可能位

置で装置を止めていると、システム側が勝手に判断してコンテナホルダーの挿入を開始してしまう。このエラーはユーザしか理解できないエラーである。意図しない箇所で挿入が始まった際は、モニタ上のボタンで操作をキャンセルさせることができるが、この現象は上下と左右の位置合わせをする過程で、片方の位置を合わせて、もう片方の操作にスイッチを切り替える途中で頻繁に起こると推定される。

先回りシステムの導入によるユーザモデル図の変化を図6に示す。この先回りシステムはユーザの操作量を低減させるという利点がある一方で、ユーザの意図しない箇所で挿入という新たなエラーの発生が欠点となる。このシステムの有効性は次章のユーザビリティ評価実験にて検証する。

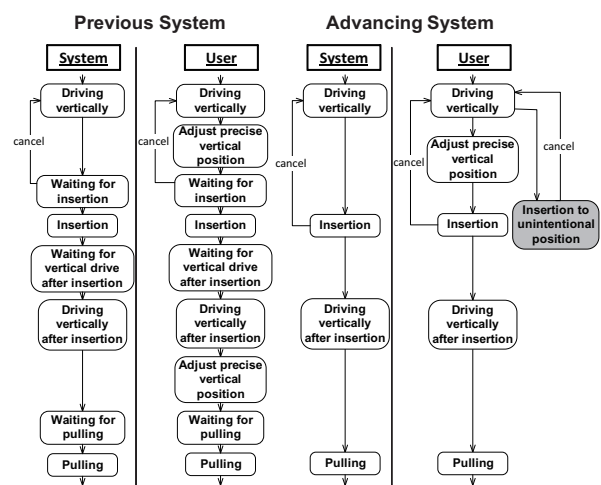


Fig. 6 Comparison of user model diagrams between the previous system and the advancing system.

**4.3 改良案 3:ユーザの操作意図を検知するハンドル上のセンサ** 上下左右の操作方向の切替にモニタ上のスイッチに代わって、左右駆動用と上下駆動/挿入用のハンドルにそれぞれセンサを搭載し、ユーザのハンドルの駆動を直接操作方向の入力として認識させる。

左右駆動用ハンドル上のセンサの概要を図7に示す。ハンドルとハンドルを固定している支柱の間に屏風蝶番を搭載し、ハンドルを左右に傾けることを可能にする。ユーザがハンドルに力を加えていないときははばネによって中央に固定されており、ユーザが力を加えると支柱に搭載したリミットスイッチが押される。このスイッチによってユーザのハンドルへの力の印加を装置が認識できる。

上下駆動/挿入用ハンドル上のセンサの概要を図8に示す。ハンドルのグリップは自由回転板に接続されており、ユーザがハンドルに力を加えると動力伝達シャフトが駆動機構に接続された板の穴の淵に衝突し駆

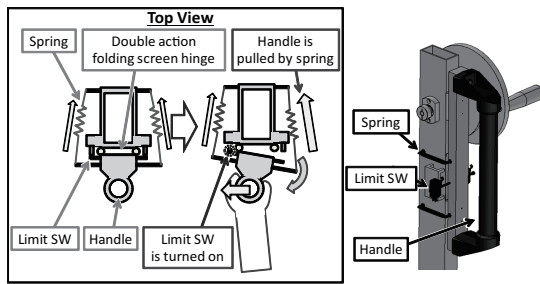


Fig. 7 Overview of the horizontal handle sensor.

動力が伝わる。そして左右駆動ハンドルと同様バネによってユーザが力を加えていないときは自然に中央に戻るため、フォトフレクタがマーカを読み取ることで自由回転板と駆動板の相対位置を検出し、動力伝達シャフトが駆動板に衝突した状態をユーザがハンドルに力を加えた状態とみなすことができる。

そしてこれらのユーザの駆動を直接認識するハンドルセンサによって起こるユーザモデル図の変化の例を図9に示す。この図では待機状態から駆動を始める際にスイッチを切り替えるという手間がなくなり、直観的な操作が実現されている。

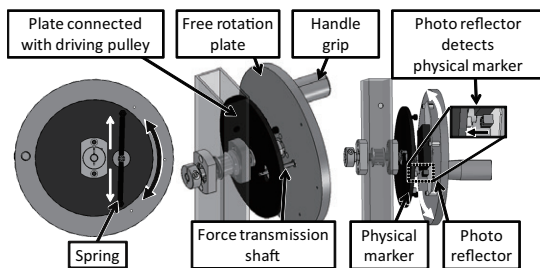


Fig. 8 Overview of the vertical/insertion handle sensor.

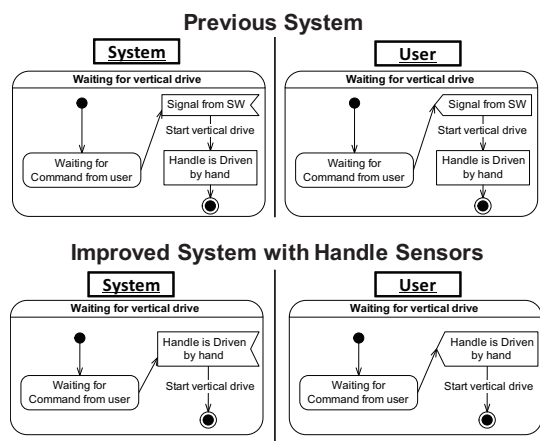


Fig. 9 Comparison of user model diagrams between previous system and improved system with handle sensors.

## 5. ユーザビリティ評価実験

**5.1 実験の目的** 本章では提案する拡張 SysML を基に改良したスタッククレーンの操作性を評価し、SysML の図中のユーザの意識と行為の変化が実際の装置の操作にどのように現れるか検証する。

**5.2 実験設定** 被験者は本装置の操作になじみの無い 20~30 代の男性 4 人と、機構とシステムの構成に熟知した開発者の 20 代男性 1 人の計 5 人が実施した。装置の操作系は以下の 4 つを比較した。

- (A):従来型
- (B):コンテナ検知センサ
- (C):コンテナ検知センサ+先回りシステム
- (D):コンテナ検知センサ+先回りシステム+ハンドル入力検知センサ

被験者は図 10 に示す順序で、左上の壁掛け金具からコンテナを取り出し、右下の壁掛け金具に回収したコンテナを掛ける、というプロセスを各操作系毎に 3 回の試行を 2 セット繰り返す。操作系は (A)→(D)→(C)→(B)→(A)→(D)→(C)→(B) という順番で実施し、試験前に被験者は各操作系の操作を練習する時間は十分に与えられている。

同時に、被験者には実験終了後アンケートへの回答を依頼した。このアンケートは各操作系の心理的、身体的負担を主観的に評価させることが目的で、(α):搬送にどれだけ頭を使ったか、(β):搬送の作業量が多いと思ったか、(γ):搬送に精神的なストレスを感じたか、(δ):搬送に切迫感を感じたか、の 4 つの質問を 0.5 刻みで 0 から 10 点で解答させた。

以下の表 1 にそれぞれの操作における、第 3 章で論じた各操作系とユーザモデル図上でのユーザの行動回数と判断回数の変化を示す。上下左右の位置合わせの際には、コンテナ検知センサによってモニタに表示される情報が削減されるのでユーザの判断する項目が減り、同時に不正な位置にコンテナホルダーを挿入して

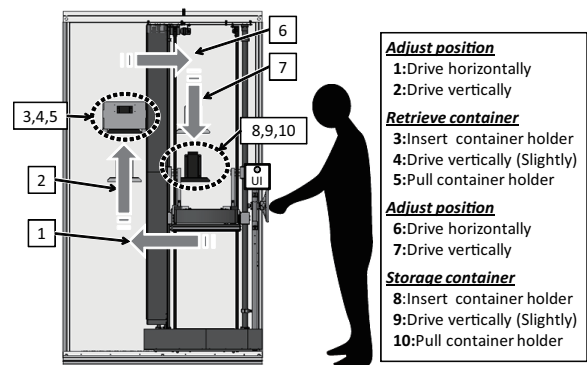


Fig. 10 Experimental set-up.

しまうというエラーを回避できると予想される。その一方で従来型に比べて先回りシステムによってユーザーの意図していない箇所でコンテナの挿入を始めてしまうエラーが新たに発生する。コンテナの挿入においては、自動で操作方向を切り替える先回りシステムの効果で、スイッチを切り替える物理的負担と細かな位置合わせを行い目標に達したかを判定する心理的負担が軽減されると同時に、ユーザーの不正なスイッチ操作を防止することが望める。

Table 1 Variation of user model diagram.

Adjust position				
	Physical process	Decision	Arising error	Eliminatable error
(A):Previous system	RV	RV	RV	RV
(B):(A) + Sensor to detect container	±0	-1		Insertion to illegal position
(C):(B) + Advancing system	-1	-2	Insertion to unintentional position	
(D):(C) + Sensors on handle	-3	-2	Insertion to unintentional position	Mistaking for switch

Storage/retrieve container				
	Physical process	Decision	Arising error	Eliminatable error
(A):Previous system	RV	RV	RV	RV
(B):(A) + Sensor to detect container	±0	±0		
(C):(B) + Advancing system	-2	-3		Mistaking for switch
(D):(C) + Sensors on handle	-3	-3		Mistaking for switch

**5.3 実験結果と分析** 4人の本装置になじみの無い被験者と装置に熟知した開発者の各操作における所要時間の平均を図11に示す。各操作系の所要時間を比較すると、(A)従来型の操作2,7の上下方向の駆動は大きい。この差はU検定の結果有意水準5%のもとでは中央値に有意な差が確認されている( $p=1.6 \times 10^{-2} \leq 0.05$ )。これは(A)従来型はユーザーに提示される情報が整理されていないため、コンテナを取り出す過程にも関わらずコンテナを設置する高度に位置を合わせてコンテナホルダーを挿入してしまう、というユーザーの操作ミスが発生したためである。コンテナを設置する上下位置とコンテナを取り出す上下位置ではモニタの表示内容は異なるため、ユーザーはその情報を注意深く観察していればこの失敗は防ぐことができるが、コンテナを検知するセンサにより、操作中に不必要な情報を提示させなくすることで、操作ミスの原因を根絶できている。このエラーは事前に拡張SysMLのメンタルモデル図により予測できたもので、コンテナ検知センサを搭載することで予期できたとおりの操作性の向上が確認できた。

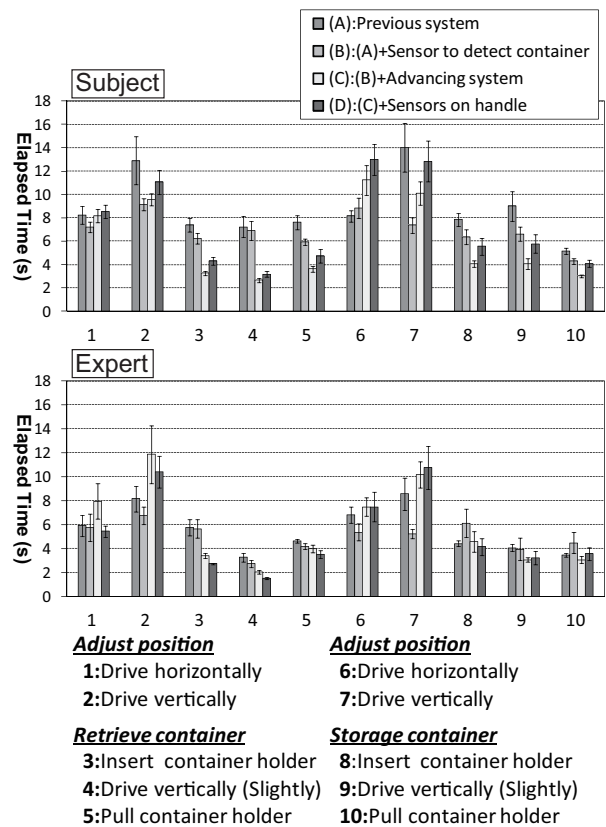


Fig. 11 Comparison of elapsed time.

操作3~5と8~10というコンテナホルダーを挿入してからの過程で、先回りシステムを搭載した操作系は所要時間の全体的な減少が見られ、U検定の結果中央値に有意な差が確認されている( $p=1.1 \times 10^{-29} \leq 0.05$ )。これはシーケンシャルな操作でユーザーの入力を待たずに次々と操作方向を切り替えることで、ユーザーの負担低減に成功したからだと見える。一方で、操作6,7という壁掛け金具からコンテナを取り出してから、次の壁掛け金具に運ぶまでの動作の過程では先回りシステムを搭載したシステムが搭載していない(B)コンテナ検知システムのみのもよりも所要時間がかかっている事例が有意に見られた( $p=8.0 \times 10^{-5} \leq 0.05$ )。これは次の金具にコンテナを運ぶ過程で先回りシステムがユーザーの行動を誤解して、ユーザーの意図しない場所でコンテナの挿入を開始してしまったためである。表1では、自動挿入機能による操作量の低減を予想していたが、同時に発生するユーザーの意図しない挿入というシステムエラーの方が操作性を決定する要素として大きかったといえる。

全体としての傾向は初心者と熟練者の間に大きな差は見られないため、これらの操作性の差異は操作に熟達することで解消されるものではなく、その操作系固有の問題であったといえる。

また、各操作系について質問紙の回答結果の平均を図12に示す。全体の傾向として先回りシステムほど被験者の評価が高い。この傾向は( $\alpha$ )要求される思考の量、及び( $\gamma$ )精神的ストレスの回答で顕著である。この点から、意図しない箇所での挿入という不備があるとしても、コンテナホルダーを挿入してからの一連の操作で細かな制御が要らず自動で操作方向を切り替えることが好意的に受け入れられたと推測できる。

そしてユーザからの自由記入のアンケートでは、先回りシステムとハンドルセンサを搭載したシステムについて、左右方向の駆動でハンドルのスイッチを入れるためにハンドルに力を加えながら細かな位置合わせをすることへの不満が多くみられた。その点が影響し、同じ機能を備えた先回りシステムのものに比べて、装置に対する主観的評価が大きく悪化したと図12よりわかる。この問題はユーザモデル図では表現できない要素から発生している。しかし、ハンドルへの入力をハンドルへの力の印加ではなくグリップ上のスイッチにより検知すれば、上記の不満はなくなり操作を円滑にできる可能性がある。

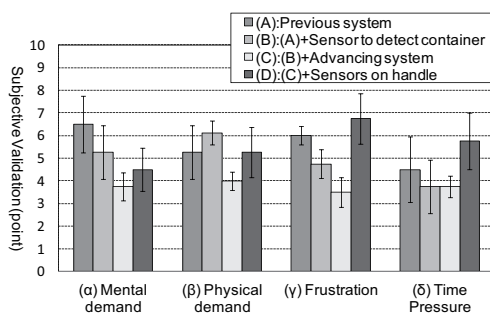


Fig. 12 Comparison of questionnaire's results.

以上の結果を総括すると、提案するユーザモデル図によって操作系の改良案を体系化し、その改良により起こりうる操作系の改善と新たに発生するエラーを予測できたといえる。拡張 SysML によって操作の流れが簡素に描画されたものは、概してユーザから好意的に受け入れられたが、実装の完成度が低い操作インタフェースの場合、SysML のユーザの意識を無視した要素が強調され、結果として好意的に受け止められなかったと考えられる。

## 6. 結 論

本研究では、人間が機械の操作に積極的に関与する装置の設計、開発、改良を支援するツールを提案する。我々の提案する記法では、拡張された SysML のによってユーザの考える装置の挙動をユーザモデルとして記述し、装置の実際の処理と併記することによ

て、ユーザが操作する上で有益な情報や装置の挙動とユーザの意識が乖離する点を顕在化させる。

このユーザモデル図に基づいて先行研究で製作した非産業用自動操作型スタッククレーンの操作系の改良案を検討・実装し、装置になじみの無いユーザによるユーザビリティテストを実施した。その結果いくつかの機能がユーザモデル図で予測していた通りの操作性の改善が確認されたが、一方で機能実装の手法が原因で改良型の方が操作性が悪化してしまう事象も見受けられ、ユーザモデル図を洗練させることと、実装の完成度の両者が重要であるとわかった。

将来課題として、実装の完成度をより向上させた上でのユーザビリティの性能評価、及び提案するユーザモデル図を自動車の自動運転支援など、非産業用スタッククレーン以外の人支援機械に適用し、実効性を評価することが挙げられる。

## 参 考 文 献

- (1) 福井類ほか. 電気駆動と手動操作が切替可能な非産業用スタッククレーン～棚板を用いない収納方法の考案と手動操作を実現する基本機構の開発～. 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 1E3-2, 2011.
- (2) 福井類ほか. 電気駆動と手動操作が切替可能な非産業用スタッククレーン-電気駆動への拡張と拡張性の評価-. 第 17 回ロボティクスシンポジウム, pp. 236 – 243, 2012.
- (3) Donald Arthur Norman. 誰のためのデザイン?—認知科学者のデザイン原論. 新曜社認知科学選書, 1990.
- (4) Sangho Kim et al. User-adaptive interface based on mental model and symbol matching. In *Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 457 – 462, 2009.
- (5) Jbzsef Tick. Software user interface modelling with UML support. In *In Proceedings of International Conference on Computational Cybernetics*, pp. 325 – 328, 2005.
- (6) Panos Markopoulos et al. UML as a representation for interaction design. In *In Proceedings of Australian Conf. on Computer-Human Interface*, pp. 240 – 249, 2000.
- (7) Paulo Pinheiro Da Silva et al. User interface modelling with UMLi. *IEEE Software*, Vol. 20, pp. 62 – 69, 2003.
- (8) 若山芳三郎ほか. 新しい JIS によるコンピュータのためのフローチャートの考え方・書き方. 啓学出版, 1987.
- (9) 大川善邦. 機械設計のためのモデルベース開発入門. オーム社, 2007.
- (10) Edward Huang et al. System and simulation modeling using SYSML. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp. 796–803, 2007.
- (11) Sanford Friedenthal et al. システムズモデリング言語 SysML. 東京電機大学出版局, 2012.
- (12) 長瀬嘉秀ほか. SysML による組み込みモデリング. 技術評論社, 2011.
- (13) Sidney Dekker. ヒューマンエラーを理解する 実務者のためのフィールドガイド. 海文堂, 2010.