

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ロボットの位置決めティーチングの高速化・高精度化および安全性の向上」

研究開発成果等報告書

平成25年 5月

委託者 近畿経済産業局

委託先 旭光電機株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1－1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	
1－2. 研究体制	
1－3. 成果概要	
1－4. 当該研究開発の連絡窓口	
第2章 本論	15
2－1. 高速・高精度ティーチングシステム	
2－2. 高速・高精度手指インターフェース	
2－3. 近接覚安全センサシステム	
2－4. 安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステム	
第3章 全体総括	62

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

【課題】

現在、産業用ロボットは車や半導体等の多量生産ラインでは広く活用されているが、他分野では普及が進んでいない。その問題の一つがティーチングである。人間が作業を行う場合は柔軟に対応出来るが、ロボットは都度ティーチングを行う必要がある。ティーチングは専門知識と経験が必要なため専任者が必要で、その作業に多くの時間がかかる為、多品種少量生産では費用対効果が得られにくい問題がある。このためロボットユーザーから簡便かつ柔軟性を有するティーチングシステムの強い要望がある。

また現在のロボットは、例えばその腕が周りの人にぶつかっても止まらない／ぶつかっても分からない。そのため、生産現場や市場からは、周りの人に対するロボットによる危害・事故を回避する技術の実現が要望されているが、そのための有効な手段が無く柵で仕切るなどの対応で使用している。また、サービスロボットにおいても医療・福祉分野への活用を考えた場合、現在の人間の居住空間にロボットが入り込むため、人とロボットの共存空間がその活用の場になるが、産業用ロボットと同じく、周りの人に対する、ロボットによる危害・事故を回避するための有効な手段が無い状況である。

【これまでの取り組み1】

旭光電機株式会社（以下旭光電機と略）ではこのような要請を基に、フレキシブル・センサ・チューブ（以下FSTと略）を用いたマスタスレーブシステムやティーチングシステムと、近接覚センサ・触覚センサを用いた安全センサの研究開発を進めてきた。

FSTとは、大阪大学大須賀教授指導のもと旭光電機が開発したもので、その関節の内部に自らの屈曲形状・回転形状（XYθ）を検出する角度センサを有し、この関節を連結してチューブ状にすることによりそのチューブ全体の形状・変化を計測する事が出来る新しい概念の3次元センサの製品名である。

現在、このFSTは第3世代まで開発が進んでいる。第1世代のFSTは、地震・災害などの発生時に倒壊した建物の瓦礫に埋もれた被災者を発見するシステムにおいて、

（1）探索ロボットの位置同定、（2）ロボットへの動力供給と有線通信を目的に開発されたものであり、現行品となる第3世代のFSTでは、ウェアラブルなロボット用コントローラの実用化を目的として、

- （1）直径の小径化（φ60mm→φ40mm→φ20mm）
- （2）分岐化の実現（全身への分岐）
- （3）装置の無線化（バッテリー搭載、ワイヤレスLAN実装）、などを実現している。



図1. 第1世代FSTの使用例



図2. 第3世代FSTの使用例



図3. FSTによるマスタスレーブ

この第3世代のFSTを着用可能にして、操縦者の背中（基点）から手先位置（指令位置）を同定出来る、「マスタスレーブ方式ロボット制御装置」として開発したものが、FSTマスタである。

【これまでの取り組み2】

次にFSTグローブとハンドロボットを説明する。ハンドロボットでは、千葉大学・並木准教授の指導のもと、株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ（以下HDSと略）が開発したハンドロボットが最高速・高精度として認識されている。FSTグローブとは、いわばFSTマスタの手指用であり、旭光電機が開発したグローブ型のハンドロボット用ティーチング装置の名称である。



図4. 高速ハンドロボット



図5. FST グローブ

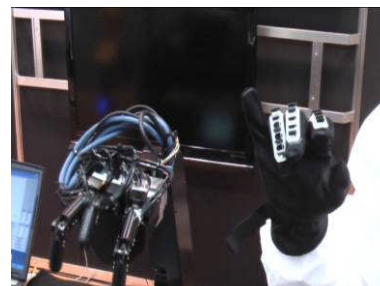


図6. FST グローブとハンドロボットの実演

【これまでの取り組み3】

次に近接覚安全センサを説明する。近接覚安全センサとは、電通大・下条教授が開発した、非接触型センサの名称である。

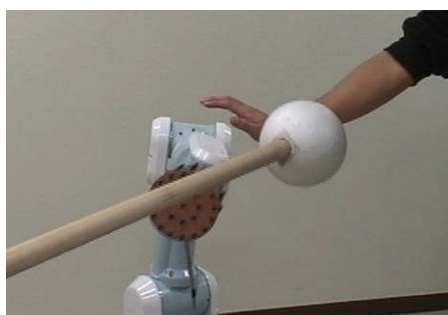


図7. 安全センサの実用例産業用ロボットに



図8. wakamaru 内蔵型安全センサ

この近接覚安全センサは、例えば、ロボットの腕などの周囲に、反射型・赤外受発光素子を、 $n \times m$ 個のマトリックスに配置し、その各素子の反射量の変化パターンから、存在する／近づいてくる障害物とその方向を検知・判別、ロボットへの回避の指示ができるセンサシステムである。

2) 研究開発の高度化目標及び技術的目標値

本テーマで定める高度化目標は以下の3つである。

- ・位置決め精度の高度化技術の研究開発
- ・位置決め的高速化技術の研究開発
- ・工作機器及び電気制御機器等の安全性の向上に関する研究開発

本研究開発では、まずF S Tマスタを用いたティーチングシステムで、ティーチングにおける位置決め飛躍的な高速化を実現する。また近接覚安全センサを開発してロボットに装着することで、安全性の向上を実現する。

このF S Tティーチング装置の特徴は、従来の産業用ロボットのほぼ唯一のティーチング手段であったティーチングペンダントと比較して、誰でも直感的にその場でロボットのティーチングが行える事にある。特に、従来は多関節ロボットのひとつひとつの関節の位置や動作を入力するため長時間のティーチング作業が必要だったものが、F S Tマスタから得た手先位置情報に基づく逆キネマティック変換を行えば、システム側でロボット全関節への位置指令等をリアルタイムに生成出来るため、瞬時にティーチング作業が完了することを高く評価頂いている。



図9. 安川電機製産業用ロボットの例



図10. ティーチングペンダント例



図11. FST ティーチングの様子

しかしながら、現在F S Tマスタを評価頂いている各機関から以下の技術課題があることを指摘されている。

- ＜1＞F S Tマスタに内蔵されたセンサの出力値のサンプリング速度が十分ではなく、人間の動きに対してロボットの動きに若干の遅れが生じてしまう。
- ＜2＞F S Tマスタに内蔵されたセンサの精度が十分ではないため、人間の関節姿勢位置に対してロボットの位置決め精度にずれが生じてしまう。人間の姿勢変化も補正できていない。
- ＜3＞F S Tマスタでロボットにリアルタイムティーチングを行う際に、突発的なトラブル等で不用意に操縦者が動いたり、突然人間が近接したりすると、人体や物にロボットが接触する危険がある。

そこで第1のサブテーマとして、これらの課題を解決すべくF S Tマスタの高速化、高精度化、操縦者とロボット間の姿勢補正機能、誤差演算補正機能、インターフェースを単腕型／双腕型ロボットそれぞれに開発することで、位置決め精度の高度化と位置決め高速化を実現する。

第2のサブテーマとして、高速・高精度に五指すべての指先までの位置情報を入手可能とするF S Tグローブの実現と、その入力情報に対応するハンドロボットを開発する。

第3のサブテーマとして、近接覚安全センサのフルデジタル化と高速化を行うと共に、センサを装着したロボットが動くことで変化するセンサの有効領域／無効領域のダイナミックアサインを実現し、ロボットが周囲の人や物との接触を自動的に避けることによ

る安全性の向上を実現する。

さらに、第4のサブテーマとして各サブテーマの成果を融合することで、安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステムを実現する。以下各サブテーマの具体的な目標値を記載する。

1. 高速・高精度ティーチングシステム

1-1. FSTマスタ高速化

現在のサンプリング速度：10ms → 目標：1ms

1-2. FSTマスタ高精度化

現在の手先精度：±1～2% → 目標：±0.1%

2. 高速・高精度手指インターフェース

2-1. FSTグローブ全指対応

現在：3指 → 目標：5指＋手首情報＋フィードバック制御

2-2. 全指ハンドロボット

現在：3指×2関節 → 目標：5指×3関節

3. 近接覚安全センサシステム

3-1. 近接覚安全センサ

→ 目標：処理速度1ms、フルデジタル、耐ノイズ性向上

3-2. 近接覚安全センサロボットインターフェース

→ 目標：ロボットの位置に伴うセンシング領域可変機能

4. 安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステム

4-1. リアルタイム高精度ティーチングシステム

→ 目標：サブテーマ1、2、3の融合によるリアルタイムティーチングを実現

3) 研究開発の具体的内容

1. 高速・高精度ティーチングシステム

【年度毎のサブテーマ1の実施内容】

【初年度】FSTの高精度化、高速化、信頼性向上、姿勢補正を狙ったVer. Cを開発・製作。

Ver. Cの目標は位置精度±0.5%、サンプリング速度3ms、断線検知・姿勢補正機能追加。

【二年度】引き続きさらに高精度化、高速化を狙ったVer. Dを開発。

Ver. Dの目標は位置精度±0.1%、サンプリング速度1ms。

【三年度】Ver. Dを製作し精度・速度を各機関で検証。その検証データを基に製品版となるVer. Eの仕様を確定。

2. 高速・高精度手指インターフェース

【年度毎のサブテーマ2の実施内容】

【初年度】FSTグローブ、ハンドロボットそれぞれの五指化開発。ハンドロボッ

ト指モジュール（アクチュエータ）新規設計、ケーブル内蔵処理、関節アブソ位置検出を開発。

【二年度】FSTグローブ高精度化。FSTグローブ、ハンドロボットをそれぞれ製作、実証。

【三年度】FSTグローブに触覚センサのフィードバックを操縦者に与える触覚フィードバック装置の組み込み。ハンドロボットへの各種センサ組み込みとドライバ部小型化。

3. 近接覚安全センサシステム

【年度毎のサブテーマ3の実施内容】

【初年度】旭光電機が一次試作を開発・製作。電通大で評価。ロボットとセンサのインターフェースを策定。

【二年度】旭光電機が二次試作を開発・製作。高速化、触覚センサを追加。ロボットとセンサのインターフェースを実装し、旭光電機で検証。

【三年度】旭光電機が三次試作を開発・製作。

4. 安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステム

上記サブテーマ1のFSTマスタスレーブシステム、サブテーマ2のFSTグローブ、3の近接覚センサを融合することで、リアルタイム高精度ティーチングシステムを実現する。

【年度毎のサブテーマ4の実施内容】

【初年度】千葉大並木准教授、電通大下条教授、HDS、旭光電機で仕様を確定。センサなど取り付けて共同でシステムを実証するロボットを製作する。ロボット側のソフトウェア開発は千葉大担当。各サブテーマの進捗に合わせて年度内にシステムの設計を完了する。

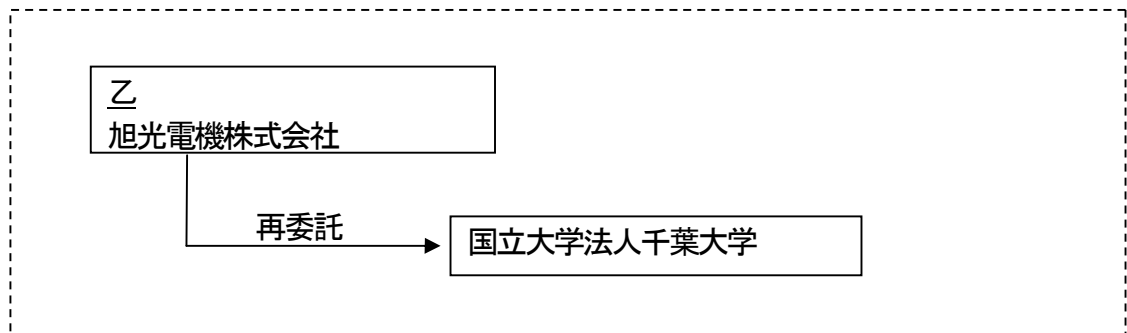
【二年度】10月に各サブテーマの成果物を融合させる。千葉大にてリアルタイム制御を実装し、人が対象物を高速に掴む動きをティーチング可能にすると同時に、ハンドロボットに電通大と旭光電機が開発した近接覚センサ、触覚センサを実装することでハンドロボットと対象物間の距離・位置を高速に補正する。またロボットアームには近接覚安全センサを実装して周囲の人が近接したらロボットアームが避ける安全性を加えることで、安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステムの一次実証システムを完成させる。完成した一次実証システムは11月に開催される「2011年国際ロボット展」に出展し、セル生産などが高速ティーチング出来る事とロボットの高い安全性を広く業界にアピールする。

【三年度】引き続き千葉大でリアルタイム制御の改善を行うと同時に、FSTマスタからの指令データの調整用に他の手段を併用出来る／あるいは一般的なティーチングシステムにFSTマスタを付与可能とする二次実証システムをまとめることで汎用性を高める。

1－2. 研究体制（H24年度）

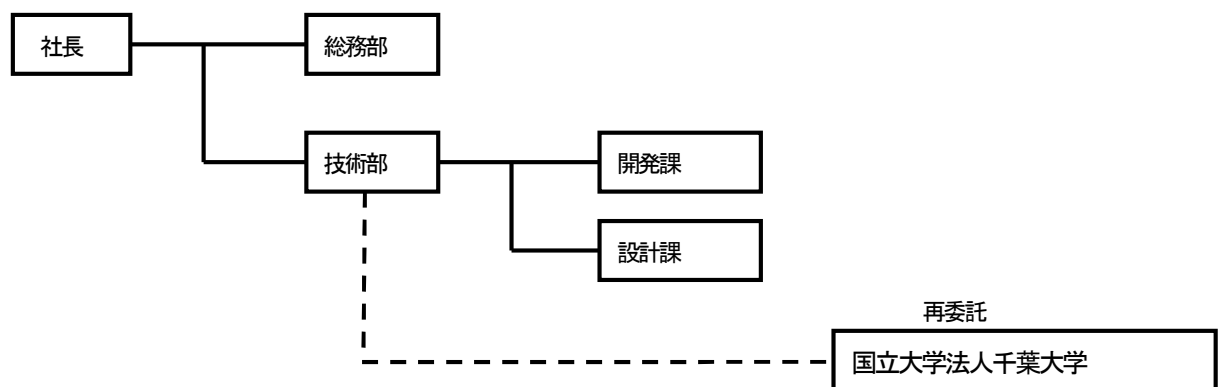
（1）研究組織及び管理体制

1）研究組織（全体）

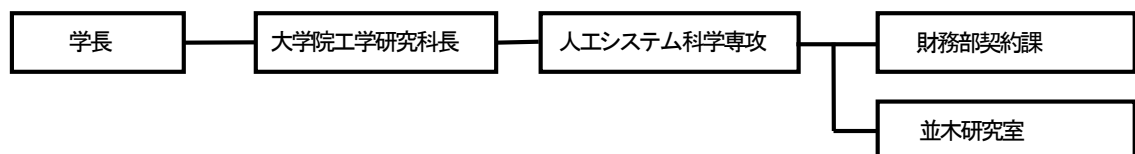


2）管理体制

①事業管理機関[旭光電機株式会社]



②再委託先[国立大学法人千葉大学]



3) 研究者氏名

【事業管理機関】 旭光電機株式会社

①管理員

氏 名	所属・役職
川原 豊志 田中 徹	技術部・次長 技術部 開発課・担当課長

②研究員

氏 名	所属・役職
田中 徹 (再) 上田 明寿 池田 真也 村上 慶典 中川 和彦	技術部 開発課・担当課長 技術部 開発課・係長 技術部 開発課 技術部 設計課・主任 技術部 設計課

【再委託先】 ※研究員のみ

国立大学法人 千葉大学

氏 名	所属・役職
並木 明夫	工学研究科・准教授

4) アドバイザー氏名

氏 名	所属・役職
小山 順二	株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ 開発本部 製品開発部・CE
下条 誠	国立大学法人 電気通信大学 教授
大須賀 公一	国立大学法人 大阪大学 教授
石川 正俊	国立大学法人 東京大学 教授
村井 真二	株式会社安川電機 ロボット事業部 課長
橋口 幸男	株式会社安川電機 ロボット事業部 課長補佐

1-3. 成果概要（H24年度）

<サブテーマ1：高速・高精度ティーチングシステム>

<H24年度のサブテーマ1の目標>

- ・さらなる高精度化、高速化を狙った「FST-03D」を開発、製作、検証する。
- ・また、この「FST-03D」の検証データをもとに、「FST-03E」の仕様を構想・検討する。

	従来： FST-03B	H22 年度	H23 年度	H24 年度
		FST-03C	FST-03D	FST-03E
サンプリング速度	10ms	3ms	1ms	1ms
位置精度	±～2%	±0.5%	±0.5%	±0.1%



<H24年度のサブテーマ1の成果>

- ・サンプリング速度：1ms、位置精度：±0.5%を狙った、「FST-03D」の開発、製作を行った。
そして、目標通りのサンプリング速度：1msを達成出来ている事を検証した。

<サブテーマ2：高速・高精度手指インターフェース>

<H24年度のサブテーマ2の目標>

- ・H23年度に開発、製作した「FSG-03」と「ハンドロボット」のそれぞれの動作検証と、さらなる高精度化および操作性向上等の改良を行う。
- ・また、「FSG-03」においては、装着性の改善を目指して、さらなる薄型化を図る。
この「FSG-03」の薄型化の目標は、基板回路の厚みの半減化(50%)とする。



<H24年度のサブテーマ2の成果>

- ・H23年度に開発、製作した「FSG-03」と「ハンドロボット」のそれぞれの動作検証と、さらなる高精度化および操作性向上等の改良を行った。
- ・また、「FSG-03」においては、装着性の改善を目指し、基板回路の厚みの薄型化、半減化(50%)を図った「FSG-03A」を開発した。
- ・そして、これらを用いたロボット遠隔操縦を実現、デモンストレーション発表を行った。

<サブテーマ3：近接覚安全センサシステム>

<H24年度のサブテーマ3の目標>

- ・H23年度に開発、製作した「FSA-02」の検証と、同センサのインターフェース、センシング領域可変機能の検討を行う。



<H24年度のサブテーマ3の成果>

- ・「FSA-02」のセンサ、基板、ハーネスの、ハンドロボットへの取付け配置の最適化、及び、その通信インターフェースの仕様を確立した。
- ・そして、これらを用いたロボット遠隔操縦を実現、デモンストレーション発表を行った。

<サブテーマ4：安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステム>

<H24年度のサブテーマ4の目標>

- ・引き続き、H22～H23年度に製作した「一次検証ロボット」を用いて、安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステムの検証・実証および操作性向上等の改良を行う。
- ・なお、H24年度の検証、実証、改良においては、特に危険区域での遠隔操作を想定し、そのワイヤレス化(無線通信化)の検討を行う。



<H24年度のサブテーマ4の成果>

- ・2-1～2-3の成果の融合として、特に危険区域での遠隔操縦を想定して、その通信を無線化、ワイヤレス化を実現した「一次検証ロボット」を改良、開発、製作した。
- ・そして、これらを用いて、「安全・安心」「リアルタイム」「高精度」「ワイヤレス」な、ロボット遠隔操縦を実現、そのデモンストレーション発表を行った。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

連絡担当者所属役職・氏名：技術部開発課担当課長・田中徹

TEL：078-341-1837 FAX：078-351-2545

E-mail：tanaka@kyokko.co.jp

第2章 本論

2-1. 高速・高精度ティーチングシステム

＜H24年度のサブテーマ1の目標＞

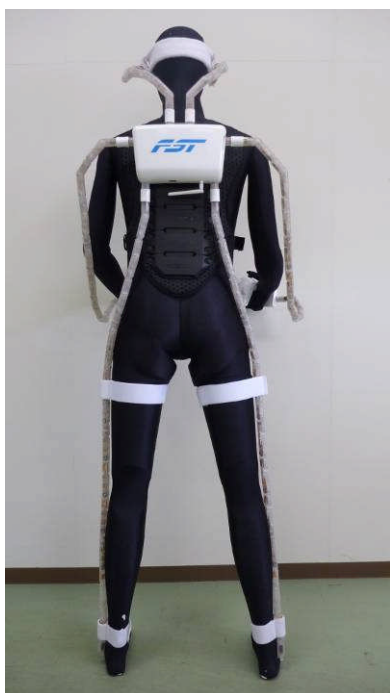
- ・さらなる高精度化、高速化を狙った「FST-03D」を開発、製作、検証する。
- ・また、この「FST-03D」の検証データをもとに、「FST-03E」の仕様を構想・検討する。

	従来: FST-03B	H22 年度	H23 年度	H24 年度
		FST-03C	FST-03D	FST-03E
サンプリング速度	10ms	3ms	1ms	1ms
位置精度	±～2%	±0.5%	±0.5%	±0.1%



＜H24年度のサブテーマ1の成果＞

- ・サンプリング速度:1ms、位置精度:±0.5%を狙った、「FST-03D」の開発、製作を行った。
そして、目標通りのサンプリング速度:1msを達成出来ている事を検証した。



FST-03D

2-2. 高速・高精度手指インターフェース

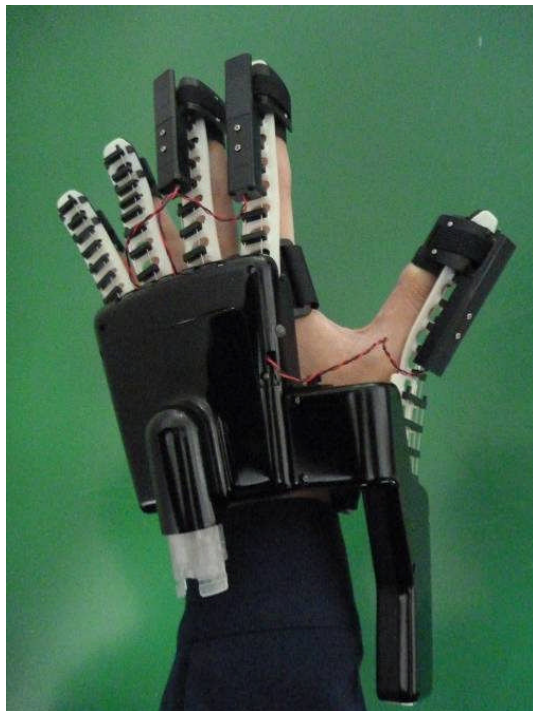
<H24年度のサブテーマ2の目標>

- ・H23年度に開発、製作した「FSG-03」と「ハンドロボット」のそれぞれの動作検証と、さらなる高精度化および操作性向上等の改良を行う。
- ・また、「FSG-03」においては、装着性の改善を目指して、さらなる薄型化を図る。
この「FSG-03」の薄型化の目標は、基板回路の厚みの半減化(50%)とする。



<H24年度のサブテーマ2の成果>

- ・H23年度に開発、製作した「FSG-03」と「ハンドロボット」のそれぞれの動作検証と、さらなる高精度化および操作性向上等の改良を行った。
- ・また、「FSG-03」においては、装着性の改善を目指し、基板回路の厚みの薄型化、半減化(50%)を図った「FSG-03A」を開発した。
- ・そして、これらを用いたロボット遠隔操縦を実現、デモンストレーション発表を行った。



FSG-03A



改良ロボットハンド

2-3. 近接覚安全センサシステム

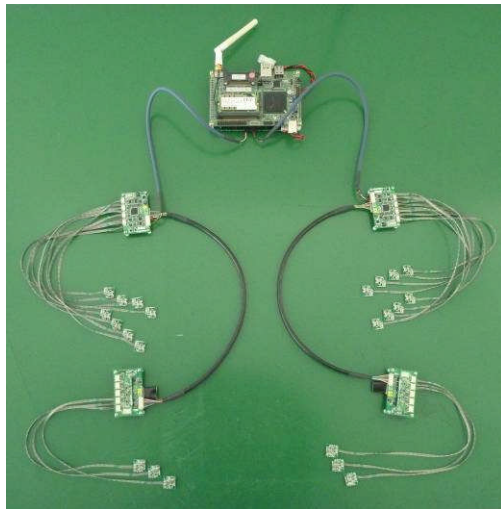
<H24年度のサブテーマ3の目標>

- ・H23年度に開発、製作した「FSA-02」の検証と、同センサのインターフェース、センシング領域可変機能の検討を行う。

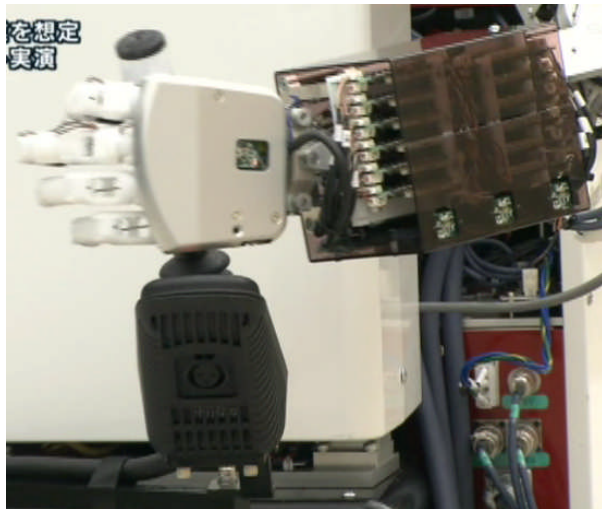


<H24年度のサブテーマ3の成果>

- ・「FSA-02」のセンサ、基板、ハーネスの、ハンドロボットへの取付け配置の最適化、及び、その通信インターフェースの仕様を確立した。
- ・そして、これらを用いたロボット遠隔操縦を実現、デモンストレーション発表を行った。



FSA-02



ハンドロボットに組込んだ様子

2-4. 安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステム

<H24年度のサブテーマ4の目標>

- ・引き続き、H22～H23年度に製作した「一次検証ロボット」を用いて、安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステムの検証・実証および操作性向上等の改良を行う。
- ・なお、H24年度の検証、実証、改良においては、特に危険区域での遠隔操作を想定し、そのワイヤレス化(無線通信化)の検討を行う。

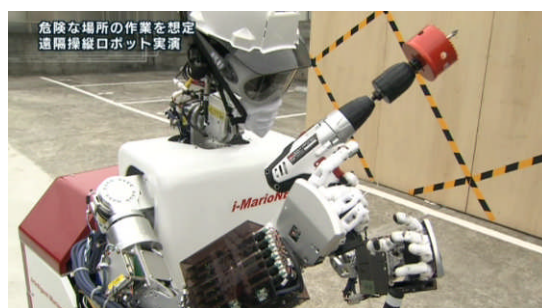
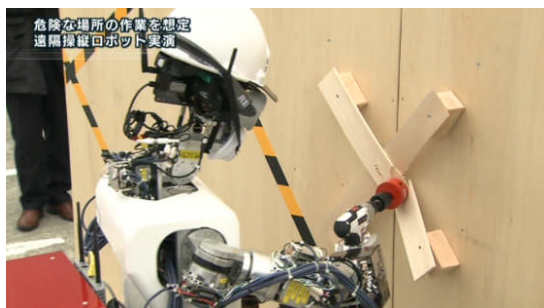


<H24年度のサブテーマ4の成果>

- ・2-1～2-3の成果の融合として、特に危険区域での遠隔操縦を想定して、その通信を無線化、ワイヤレス化を実現した「一次検証ロボット」を改良、開発、製作した。
- ・そして、これらを用いて、「安全・安心」「リアルタイム」「高精度」「ワイヤレス」な、ロボット遠隔操縦を実現、そのデモンストレーション発表を行った。



デモンストレーション発表の様子



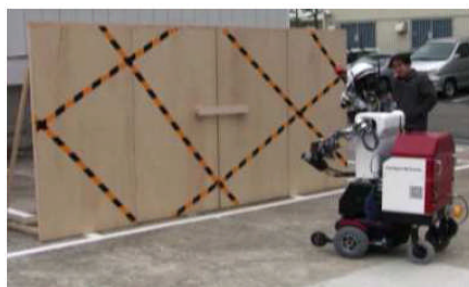
テレビ放送の様子

第3章 全体総括

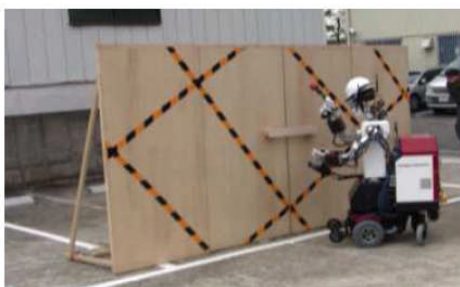
H22～H24年度の「安全・安心なリアルタイム高精度ティーチングシステムの研究開発」において、FSTを用いたロボットの遠隔操縦システムを開発する事が出来た。

なお、今後は、これら基本的なロボットの遠隔操縦制御に加えて、触覚センサや近接覚センサを用いた知能化制御を行うことで操作感覚を向上させ、操縦者に負担が少ないシステムの実現を目指す予定である。

また、スレーブロボットについても、より器用な作業、より力強い作業にも対応できるように、さらなる高出力化と多自由度化を進める予定である。



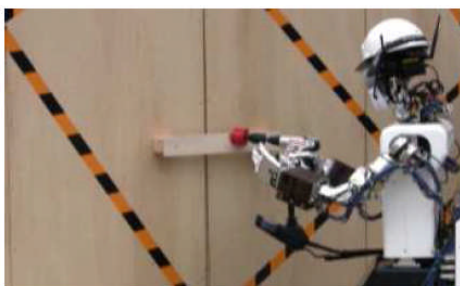
(a) $t = 0s$



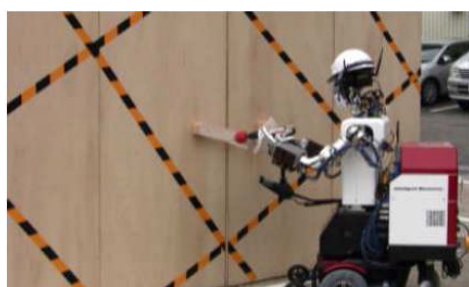
(b) $t = 4s$



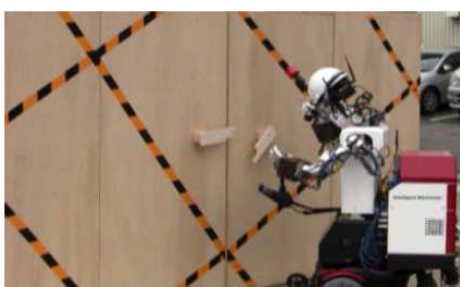
(a) $t = 8s$



(b) $t = 12s$



(a) $t = 16s$



(b) $t = 20s$

実証実験の様子

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。