研究室訪問

慶應義塾大学　理工学部　システムデザイン工学科

桂誠一郎　准教授　訪問記

（第 21 回受領者）

今年はもう 1 件，研究室を訪問させていただきました。一週間前の台風一過でそのまま梅雨明けという期待が外れて，7 月 18 日に蒸し暑い曇り空のもと，当財団選考委員の藤田博之先生（東京大学生産技術研究所教授）とともに慶應義塾大学の新川崎（K2）タウンキャンパスを訪問しました。このキャンパスは，産学官地域連携を目指して 2000 年に慶應義塾大学と川崎市が協働で開設したそうです。現在 17 プロジェクトがここで最先端技術の産業化を目指しているとのことで，桂准教授は「超身体プロジェクト」としてその一翼を担われています。

研究室に到着したのが約束の時刻よりもかなり早くて，桂先生はまだ研究室にいらっしゃらず，いきなり十数名の学生の皆さんに出迎えていただきました。若いパワーに圧倒されている我々を見て，その中のリーダ格である森光英貴さん（博士課程 3 年生）が，カメラからの画像に加えて力触覚がリアルタイムに運転手のハンドルやアクセルにフィードバックされる移動ロボット遠隔操作システム（テレリアリティロボット）のデモを手際よく開始していただき，その操作を楽しんでいるところに桂先生登場。

到着早々テレリアリティロボットの操作の感触を楽しむ藤田選考委員（左）と田中常務理事

桂誠一郎准教授

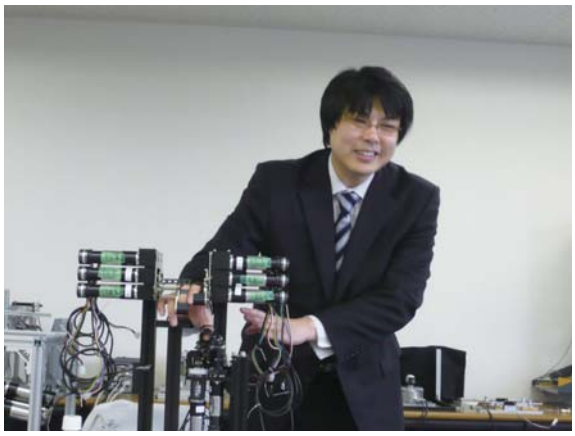
○　まずは，先生の研究室をご紹介下さい。

ご覧のように大所帯です。学生は 24 名で内訳は，博士課程 5 名，修士 2 年生 6 名，1 年生 7 名，学部 4 年生 6 名です。学部及び研究科の本部は日吉の矢上キャンパスにあるので，私も学生も講義や会議は矢上，研究はこの K2 タウンキャンパスまで来て行っています。

○　先生は現在どのような研究テーマに取り組んでおられるかお聞かせ下さい。

「ハーモニアス（調和的）人間支援」ということで，人間と遠隔地にあるものとが双方向で力触覚を伝達することにより，人間の活動を支援する研究です。人類の大発明である電話，テレビ，FAX などは聴覚や視覚という単方向の感覚を保存し伝達する手段でしたが，力触覚をリアルタイムで双方向に伝達し，また保存することにより，新たな人間と機械の調和の可能性が開拓できると確信しています。

従来のバーチャルリアリティではコンピュータ内のモデルを用いて対象物の応答をシミュレー



ションするのですが，私の研究は「実世界ハプティクス」と言い，遠隔地で実際に発生している力学現象をそのまま伝達します。ハプティクスとはギリシャ語で「触覚学」という意味です。

実世界ハプティクスの基本原理は，マスター（操作側）とスレーブ（動作側）の作用・反作用の法則（力の制御）と２つのモータの同期（位置の制御）という２つの命題を連立させる解を導くことです。ところが力と位置は双対性を有するパラメータであるため，一つのアクチュエータ内でこれら二つを同時に満たすことはできません。

そこで，直交モード座標変換により，力と位置の制御目標を共通の加速度次元に変換することで，ロバスト性（頑健性）を確保した理想制御を達成しました。

○　当財団が助成した当時の状況と助成課題についてお聞かせ下さい。

2010 年度に「人間支援空間構築のためのテレリアリティロボット技術の開発」という課題で助成していただきました。先ほどご覧いただいた移動ロボット遠隔操作システムの前身です。

助成課題では，開発したテレリアリティロボットで，マスターでの角速度応答とスレーブでの速度応答，そしてマスターでのペダルのトルク応答とスレーブでの車輪が受ける力応答，これら２組が次元の異なる情報間で制御できている（応答値が一致している）ことを確認しました。

藤田選考委員の達筆モーションをコピーして再現

すなわち，視覚情報と触覚情報をリアルタイムで取得することが可能な「テレリアリティ」の基盤技術の開発に成功し，ネットワークを利用して遠隔操作を高臨場感で直観的に実現するための基本技術を確立しました。

○　その成果はその後どのように発展したのでしょうか？

当時の力触覚フィードバックは，マスターとスレーブが同じ構造での実現となっていました。助成課題で得た知見をもとに理論拡張して，その後，先ほどデモでお見せしたように異なる構造での制御にも成功しました。

この技術を，モーションコピーシステムとして熟練者のスキルを保存して再現するというシステムに展開しました。例えば書道家の匠の技や動作の過程を永久保存し，筆のモーションを再現します。今では，書き手が筆を持つとまるで師匠が手を添えていっしょに書いてくれているかのように力覚でガイドできるようになりました。つまり書き手にどれだけ無駄な力が入っているかが伝わり，補正してくれます。

また，日本学術振興会の「頭脳循環を加速する若手研究者海外派遣プログラム」により，博士課程の学生を海外派遣して，人間支援ロ

ボットを日米欧の３極から相互に遠隔操作することにも成功しました。ネットワークによる時間遅れの問題を解決しています。

○ **様々な応用分野への広がりが期待できますね。**

そうです。例えば力触覚情報の伝達だけでもＥラーニング，コンテンツ販売，エンターテイメントへの応用が考えられます。テレリアリティロボットとしては，危険な場所の探索や救助，メディカル分野では触診や遠隔手術，介護やリハビリ支援など，さらには超微細環境でのマニピュレーションへの応用も可能です。

またモーションコピーシステムは，熟練技能の伝承のためのアシストや可視化により様々な分野での応用が可能です。

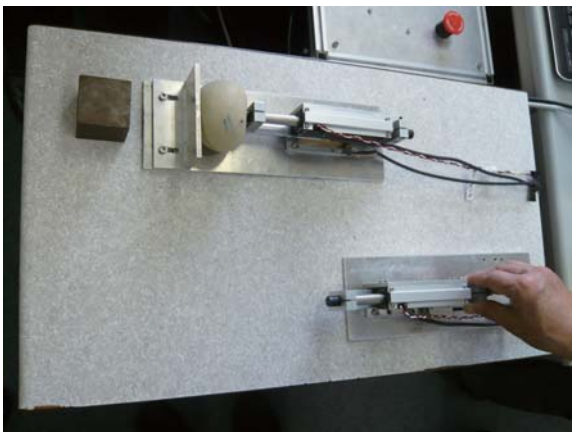
さらに機械系の双対性制御問題を一般化することにより，電気系や熱系のシステムにも応用が広がります。力触覚と熱の伝達により，例えば握手の力強さや優しさに加え温もりも伝わり，人間味あふれるふれあいが可能になります。

IT は情報伝達，特に視覚，聴覚に関する大量な情報の伝達により人間と機械の調和に大きなインパクトを与えました。その IT 革命の成果をベースに「身体革命」を積み上げて，「超身体」として広く普及させたいと思っています。

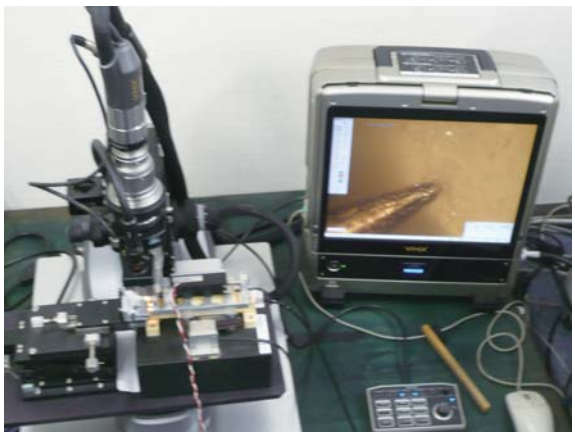
○ **大勢の学生を率いて研究を進められていますが，どのような指導方針をお持ちですか？**

私からはテーマを与えない，本人のやりたいことをやらせるという方針です。学生には，私にも結果の見えないようなテーマをやって欲しいと思っています。もちろんそのために，毎週ミーティングをして，ビジョンや方向性は共有しています。また，博士課程の学生をリーダとしたグループ制をとっています。

左から田中常務理事，桂准教授，藤田選考委員，麻事務局長



マスター（下）を手で押すとスレーブでボールを押した感触がマスターにフィードバックされる



顕微鏡で拡大した物体を押した感触が 1000 倍の力でフィードバックされる（マイクロマニピュレータ）

○ **最後に，当財団では今年から 40 歳以下の若手研究者を対象に短期在外研究助成，またこの 9 月募集からは博士課程（後期）の学生を対象に研究助成(C)を新設していますので，是非先生の研究室でもご活用いただきたくようお願いします。**

いいですね。先ほども申しましたように，今後海外との共同作業が増えていきますし，学生には独立心をもって研究を進めて欲しいと思っていますので，そのような助成は大歓迎です。

あとがき

桂先生の研究は，各方面からの注目度が高く，テレビや雑誌への露出も多く，いろいろと面白いお話とデモで楽しませていただきました。多岐にわたる応用の可能性を見据えながらも，技術的な芯をはずさずに取り組んでいらっしゃることがよく分かりました。

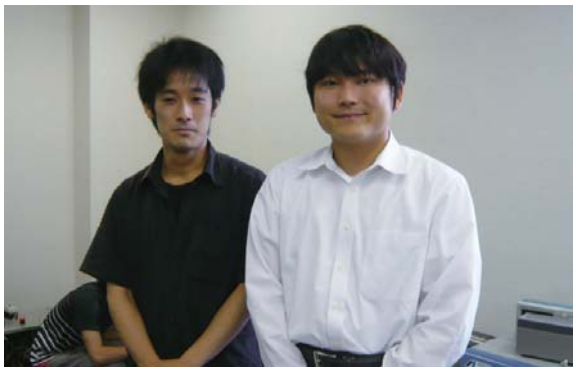
藤田選考委員は，桂先生の恩師である大西公平先生（慶應義塾大学理工学部教授）と同級生とのことで，終始なごやかな中にも突っ込んだインタビューになりました。さらに藤田選考委員から，MEMSのピンセットで細胞をつかんだ時の感触を知りたいとのリクエストがあり，共同研究に発展するかもしれません。想定外の展開です。

また先述の森光さん，齊藤英一さん（博士課程２年生）をはじめ研究室の皆さんによるデモは，今までに何回も実施されてきたのでしょうが，それにしても非常にテキパキと手際よく実施していただき驚きました。さらに皆さんの前向きでいきいきとした姿勢は，桂先生のご指導の結果でしょう。

梅雨明け間近の半日，大勢の若い研究者と触れることが出来，先週の研究室訪問に続き晴れ晴れとした気持ちになりました。皆様の益々のご活躍，ご発展を祈念申し上げます。ありがとうございました。

（レポータ：常務理事　田中敏文）

桂先生と研究室の皆さん



齊藤さん（左）と森光さん（右）