

ハイパーミラー(注1)を応用して高度な手技が求められる先端医療の技能トレーニングを遠隔地間で行うシステム

医療の現場で手術等の身体技能を教授するには、指導者と訓練者が同じ場所にいる、細かな動作を見ながら説明する必要があります。しかし、指導者数が少ない先端医療の分野では、指導医と訓練者の地理的な距離という制約が熟練医の優れた技術・技能の普及を阻害する大きな要因となることも少なくありませんでした。

本プロジェクトでは、内視鏡下鼻内手術手技の研修を対象として、遠隔地間での空間共有機能に優れた電子的な「鏡」であるハイパーミラー技術を応用した技能トレーニングシステムを構築し、その有効性を実験的に検証しました。

- 遠隔地にいる指導医が、あたかも学習者の隣にいるかのように指導できるシステムです。
- 指導医の録画映像を用いれば、そのまま精密ヒト鼻腔モデル(注2)を練習台として自習できるシステムになります。
- 切開手術を必要とせず患者に苦痛の少ない内視鏡による鼻内手術の安全性向上と普及に貢献します。



▲図1. 内視鏡下鼻内手術遠隔指導システム

競合技術への強み

	学習の効果	学習の機会	コスト
マンツーマンによる手術技能研修	◎ 指導医から直接指導を受けられ、分かりやすい	× ・指導医数が少なく、学習機会が少ない ・指導医が会場に向かなければならない	× ・指導医を必要とする ・研修会場への移動時間も含め高いコストが高い
書籍・ビデオ教材による手術技能の自習	× 2次元の写真や動画から3次元的手術技能を学ぶことは困難	◎ 繰り返し学べる	- ・低コストだが学習効果が小さく対費用効果に疑問
本システムによる手術技能の遠隔指示	◎ ハイパーミラー技術により指導医から直接3次元的手術技能を分かりやすく学べる	◎ 遠隔地の指導医から学べる	◎ ・指導医を必要とするが、移動時間とそのコストは不要 ・既存技術によりシステムを安価に作れる
本システムによる手術技能の自習	△ ハイパーミラー技術により指導医のビデオ画像から3次元的手術技能をわかりやすく学べる	◎ 繰り返し学べる	◎ ・指導医を必要としない ・既存技術によりシステムを安価に作れる

▲従来の研修方法と本システムによる手術技能学習の比較

①3次元的手術技能を遠隔指示で学べる

先端医療の技術・技能の普及阻害要因であった地理的制約の克服を可能とする技能トレーニングシステムです。

②既存技術により安価にシステムを構成できる

パソコン、インターネット、クロマキーヤ等を組み合わせるだけで、安価に技能トレーニングシステムを構築できます。

③指導医のお手本画像による自習システム

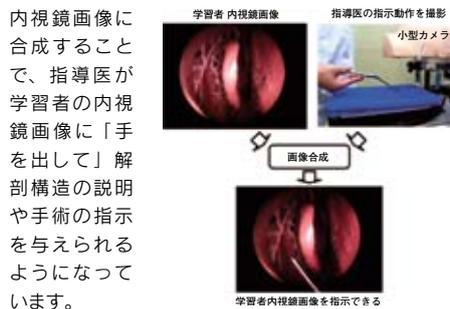
あらかじめ登録されているお手本画像や、トレーニング中に保存したモニター画像をいつでも再生し、何度でも独習できます。

ここがポイント

内視鏡による鼻内の手術は、その対象である副鼻腔(注3)が、極めて複雑な構造を持ち、薄い骨の壁を隔てて視神経・脳・動脈等の重要臓器に隣接していますので、十分な研修を必要とします。

内視鏡手術では、手術を行う部位を内視鏡画像の中央に安定して捉えること、内視鏡画像の上下方向を保持すること等、「視野の確保」が最も大切です。本システム(図1)では、学習者は自分と遠隔地の指導医の内視鏡画像を見比べて、正しい視野の確保を学習します。操作がどのように異なるかは、仮想の鏡の画面に写った自分と指導医の操作を比べることでわかります。精密ヒト鼻腔モデルは形状が同じであるため、内視鏡を指導医と同じように操作すれば、全く同じ視野が得られ、内視鏡画像が異なれば、内視鏡の操作が指導医と違っていることに気づきます。

また、図2に示すように、指導医側の指示動作を撮影する小型カメラを設置し、その指示画像を学習者の



▲図2. 指導医による学習者内視鏡画像の指示

内視鏡画像に合成することで、指導医が学習者の内視鏡画像に「手を出して」解剖構造の説明や手術の指示を与えられるようになっていきます。本システムは、上記の互いのライブ映像を送り合う遠隔指導の他、指導医の録画映像を用いた自習システムにも対応しており、名医の録画教材を使っても好きなだけ独習ができるため、手術の安全性の向上や新しい手術の普及促進に役立つと期待されます。

ブレイクスルーへの道のり

1997年：ハイパーミラーを発明、遠隔教育実験などを通してハイパーミラー技術の基礎を確立。

2003年：手術可能なヒト鼻腔モデルを開発(産業科学技術研究開発制度)。医師らの意見により改良、製品版を開発(中小企業支援型研究開発制度)。

2004年：産総研認定ベンチャーを通じて販売開始。この手術可能なヒト鼻腔モデルにセンサ類を付加し、同じ手術手技について、医学生から熟練医までの操作データを横断的に計測・分析した結果、若手医師の不安定な操作の原因が、姿勢・立ち位置・器具の持ち方など内視鏡画面の外にあることを見出した。

2005年：ハイパーミラー技術を応用した熟練者の動作の「型」を容易に学べるシステム開発を平成17年度産技助成に提案し、採択され、7月より助成研究を開始。システム1次試作、まず卓上タイプにて手術器具の持ち方学習実験を実施。

2006年：システム2次試作、実際に手技を遠隔指導しながら改良。当初計画よりモニター配置を変更、4画面を前面に集中する。また、鏡像/正像呈示の効果も、自己像を撮影するカメラ視線方向との関係を実験的に計測。内視鏡手術の難しさの原因究明につながる基礎的な研究の糸口をつかんだ。

2007年：5月にプレス発表および耳鼻咽喉科学会にて展示、医師らより高い評価。医師らのコメントをもとにシステムを改良し、6-7月に金沢医大-つくば間で手技遠隔指導実験。ネットワーク接続するまでトラブルが発生し、大変だったが、無事実験実施に漕ぎ着け、遠隔指導が可能であることを実証した。9月には技能の定着を実験的に確認。遠隔指導実験で得られた指導のエッセンスを抽出した自習システムを構築し、12月に自習実験を実施。

2008年：医師らより、システム実用化のためには若

手医師を対象としたより実践的な指導実績が必要であるとの助言・要望を受け、手術室をつないだ追加的な遠隔手術指導実験を計画。計画を申請した結果、NEDOより加速予算をいただき実験準備開始。6月に助成研究終了。今後、本成果を踏まえ、製品化希望企業とともに実用化開発助成制度への提案を検討中。

■サクセス・キー

まず最初に研究分担者と、遠方同士の映像を隣同士に合成し、左右反転呈示相手の側にある物を指さして「これ」と指示できるほど、高い空間共有感を実現するハイパーミラー技術の開発構想を考案したことが大きな成功要因の一つでした。また、医師、研究者、技術者等、多くの方々にご多大なるご支持を頂いたことも大きな要因でした。

■ネクスト・ストーリー

今後実用化していくためには、研究開発成果の発表機会のさらなる確保と医師教育現場への本格導入が課題です。そのために内視鏡手術の難しさをさらに解明し、効率的なトレーニング手法を開発していきたいと考えています。

また以上のハイパーミラーを用いた手術技能の指示技術の実用化に向け、企業・研究機関と意見交換を行う予定です。既に複数の企業から実用化研究の打診がありますので、これらの企業とともに製品化を目指したいと思っております。

- (注1) ビデオカメラで撮影した自分の像(自己像)と対話相手の像を合成し、左右反転してディスプレイ(HM画面)に表示する遠隔対話インターフェース。HM画面は擬似的な鏡として機能し、遠隔地間の握手や指差しなど空間を共有した相互のやりとりが可能になる。通常のテレビ会議システムに比べ、より優れた空間把握・遠隔地の一体感を実現する。HMの対話者が空間を共有している傍証として、無意識に適切な距離を保つ行動(パーソナルスペースの確保)が観察される。
- (注2) 副鼻腔を含む鼻内の骨形状が、人体CT画像より精密に再現されている世界初の手術可能な内視鏡下鼻内手術手技トレーニング用モデル。2003年に産総研で開発された。
- (注3) 副鼻腔：頭蓋骨の顔の裏側部分にある、薄い骨の壁で仕切られた空洞。副鼻腔に溜った膿を、生理的線毛機能により自然に排出できなくなったのが慢性副鼻腔炎で、手術の適応対象となる。

