

ラウンドテーブル
ディスカッション手術用ナビゲーションシステム
StealthStation® についてメドトロニックソファモアダネック株式会社
サージカルナビゲーション事業部

古賀 敦郎

はじめに

現在、脳神経外科領域を中心に手術用ナビゲーションシステムを用いて手術を行うイメージガイディングサージェリーは、安全で確実な手術を行うための手術支援方法として有用性が確認され始めている。

手術用ナビゲーションシステムとは、実際の術野の位置情報を座標化し、これを術前に撮影した画像上に反映させ術中の位置確認を行う画像支援システムのことで、具体的にいうと術前の CT または MRI 画像などのデータをアキシャル、コロナル、サジタルの3方向の2Dイメージに再構築し、ポインタープローベでさす部位をそれぞれのスライス上にリアルタイムに表示するシステムで、カーナビゲーションによく似ている。これにより術者は、3次元的な術野のオリエンテーションを把握しながら手術が進行でき、より安全で的確な手術操作が可能となる。

本稿では、脳神経外科領域を中心に手術用ナビゲーションシステムの性能・特徴・使用方法・アプリケーションの紹介と今後の展望について述べる。

性能・特徴

1. システム構成

手術用ナビゲーションシステム ステルスステーション (図1、図2) は、ワークステーション (LINUX-OS) とワークステーションから転送されたナビゲーションイメージを表示するモニタ、ポインタープローベの先端位置を検出する位置検出装置とその位置情報をワークステーションに転送するデジタイザーユニットから構成される。ポインタープローベの先端位置を検出する位置検出装置には、赤外線カメラを使用している。

2. ナビゲーションの方式 (位置検出方式)

ナビゲーションの方式として、赤外線カメラを使用した光学式を採用している (図3)。光学式は、ナビゲーションを行う際の光学的基準点となるリファレンス



図1



図2

スフレームと手術器具に付いている LED (発光ダイオード) または反射マーカの反射光を赤外線カメラにより三角計測の原理で位置測定を行い、ポインタープローベの先端の位置情報を術前に撮影した CT または MRI などの画像上にリアルタイムに表示する。この方式の空間精度は、 $0.2\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ で精度的に優れた方法のひとつである。また、光学式の利点として、基準点となるリファレンスフレームが、患者と一体化されるので体位の変更や赤外線カメラを移動してもナビゲーションの精度は維持される (ダイナミックリファレンス方式)。

その他の検出方式としては、プローベ先端とアーム

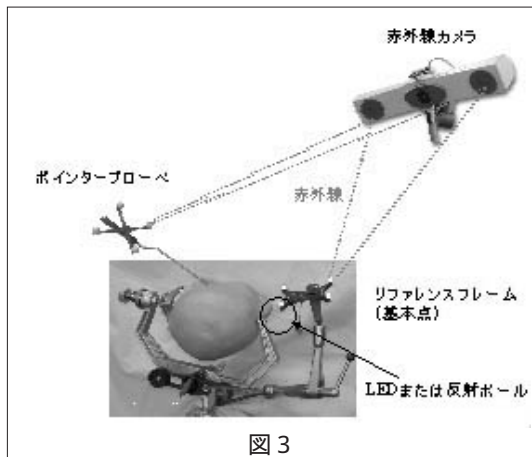


図3

の起点との距離，角度を計算して表示する機械アーム式と術野に磁界を発生させプローベ先端の位置検出を行う磁場式があるが，精度の高さや操作性の面から光学式のナビゲーションシステムが最近広く普及している。

3. 器具

ナビゲーションシステムの器具は，ナビゲーションを行う際の光学的基準点となるリファレンスフレーム（図4）と位置を確認するために使用する専用のポインタープローベ（図5）があり，どちらもLEDを内蔵し自ら発光するコード付きのアクティブタイプと反射ボールを取付け，赤外線の反射光を利用するコード無しのパッシブタイプがある。

専用のポインタープローベの他にも，術者の使い慣れた手術器具をポインター代わりに使用できるアダプターもあり，手術操作を中断することなく位置確認を行える。ドリルや内視鏡などにアダプターを取付け，内蔵されたLEDや取付けた反射ボールの位置と器具の先端の位置関係を認識させ，ナビゲーションを可能にしている。



図4



図5

・ セットアップ

ナビゲーションシステムのセットアップは始めに，患者の撮影。次に，撮影した画像の取込み。そして，

レジストレーション（位置合せ）。最後に，ナビゲーションと大きく分けて4ステップに分けられる。第3ステップのレジストレーションとは，ナビゲーション上の画像と実際の頭部や骨といった患者自身との位置関係の整合およびリファレンスフレームを基準とした座標空間の作成をすることで手術体位をとった後に行われる。

1. 撮影

撮影前，頭皮にレジストレーションに使用するためのマーカーを4点以上任意の箇所貼り，MRIやCTなど術者が術中に必要な画像の撮影を行う。撮影は，3.0mm以内のスライス厚で，撮影中にスライス厚を変えることなくギャップレスで撮影を行う。撮影のイメージはアキシャルイメージかサジタルイメージの1方向のみで良く，スライス厚は薄ければ薄いほどナビゲーションの精度は向上する。

2. 画像の転送

撮影したイメージデータを撮像装置についているCD-Rや5.25インチのオプティカルディスクに保存し，ナビゲーション本体に直接挿入して画像の転送を行う。また，ネットワーク（DICOM3.0）を介して転送することも可能である。画像転送後に撮影領域やオリエンテーションを確認した後は，自動的にアキシャル，コロナル，サジタル，3Dモデルが再構築され，ナビゲーション用のイメージデータのセットアップは完了する。セットアップされたイメージ上に術前，術中にかかわらずサージカルプランの作成，表示，保存も可能でナビゲーションシステムは，術前のプランニングステーションとしても活用されている。

3. レジストレーション（位置整合作業）

手術場で体位をとり終えた後，基準点となるリファレンスフレームを頭部固定器に接続して設置し，レジストレーション作業を行う。レジストレーションは，ポインタープローベの先端を頭皮に当て入力していく。ステルスステーションには，2つのレジストレーション方法があり，撮影前に貼った頭皮マーカーを使用して実際の頭部とセットアップされたイメージデータとを整合させていくポイントレジストレーション（図6）とポイントレジストレーションを基にさらに頭皮表面を40ポイント以上ランダムに入力することで，3次元的な形状を合わせていくサーフェスレジストレー

ション (図7) という方法がある。この2つのレジストレーションを用いることにより、安定して高いレジストレーション精度を維持し、CT イメージで 1.0mm 以内、MRI イメージで 2.0mm 以内の精度を実現している。この他に、レーザーの反射を利用して鼻筋や目の周りの凹凸をスキャンし、整合させるレーザーレジストレーションシステムも開発されており、撮影時にマーカーを使用せず簡単にレジストレーションを行える。

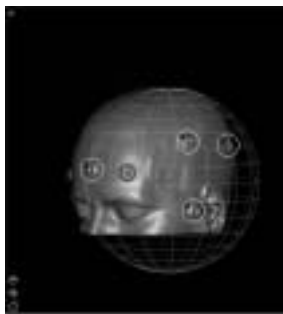


図 6



図 7

4. ナビゲーション

レジストレーションが終了するとナビゲーションが使用可能となる。ポインタープローベを術野に当てるとプローベの先端位置がナビゲーションイメージ上にリアルタイムに表示され、術者はオリエンテーションの確認できる。モニタの表示画面は、アキシャル、コロナル、サジタルの 2D イメージを表示するアナトミックビュー (図8) とプローベを軸としたオブリークな

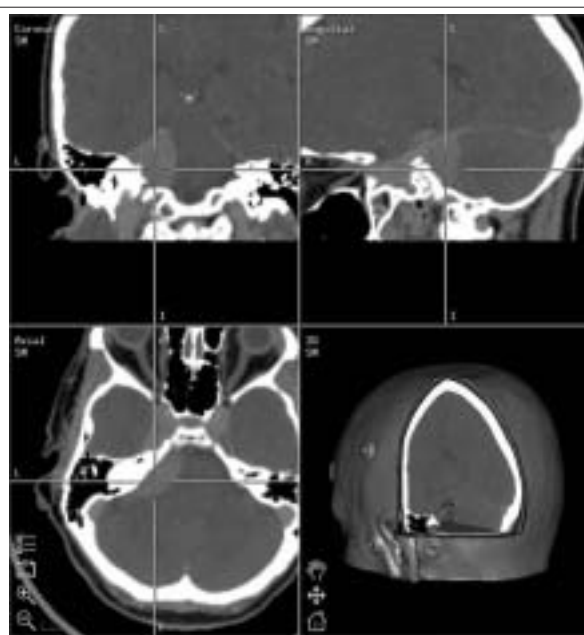


図 8

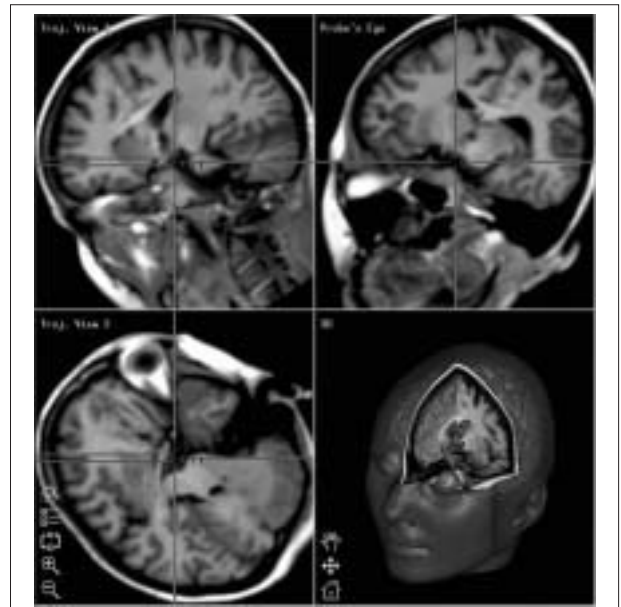


図 9

2D イメージを表示するトラジェクトリービュー (図9) の表示が可能で、術者は症例に最も適した画像表示を用いてナビゲーションシステムを使用することができる。両画面ともポインタープローベの先端位置は、十字線の交点で表示される。

・ アプリケーション

ステルスステーションのアプリケーションは、症例別に十数種類あり、本稿では脳神経外科領域における代表的なアプリケーションを紹介する。

1. クラニアルアプリケーション

脳神経外科手術における開頭術や生検術等に対応したアプリケーションで、適応症例としては脳腫瘍生検や血腫除去に加え、脳腫瘍摘出術に使用され、特に頭蓋底腫瘍また正常組織と肉眼での判別が困難であるグリオーマなどにおいて有効に使用されている。また、ボリュームレンダリングを用いた 3D モデルの表示も可能となり、今後 AVM 等の血管手術においてもナビゲーションの応用が期待される。

2. ステルスマージアプリケーションソフトウェア (図 10)

クラニアルアプリケーションと併用して使用するソフトで、CT や MRI など複数の画像データを重ね合わせる画像合成ソフトウェアである。表面形状、骨の位置、脳室の形状等アナトミーが最も正確に一致する位置をワークステーションで計算し、自動的に画像の

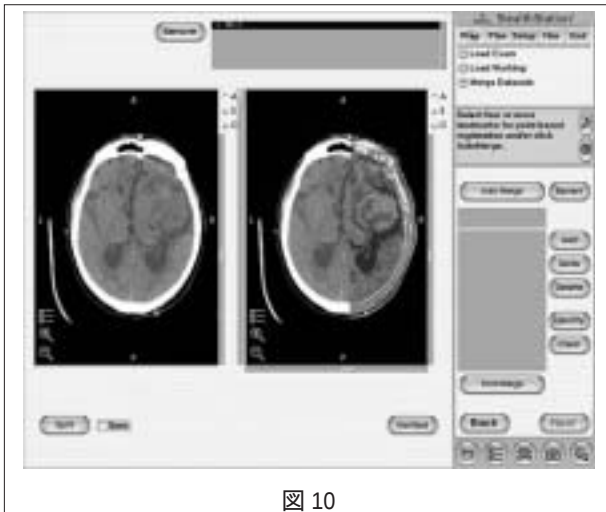


図 10

重ね合わせを行い、術中に見たい画像に切り替えも可能である。経鼻的下垂体腫瘍摘出術などに有効に使用されている。

3. SonoNAV アプリケーションソフトウェア (図 11)

ナビゲーションシステムは、脳神経外科手術において最も広く使用されているが、術前の画像データに基づいたシステムであり、髄液の流出や病巣切除などに伴う脳組織や病変の偏位（ブレインシフト）によって、ナビゲーションの精度の低下が発生する。SonoNAV アプリケーションソフトウェアは、このブレインシフトに対応するため、術中の超音波画像をナビゲーションに取込み、超音波画像と同一断面の術前画像を並べて表示し、ブレインシフトの把握を行うソフトウェアである。超音波画像と術前画像との重ね合わせや、画像上の同一点を表示し、ブレインシフトを計測することも可能で、さらに、ポインタプローベを挿入する

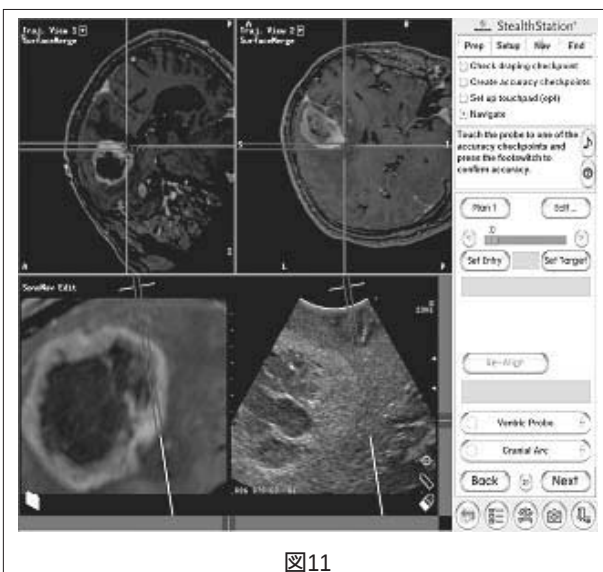


図 11

と超音波画像に挿入方向や位置が明示される。これらの機能により、腫瘍の摘出の程度や範囲を超音波診断装置で確認し、術前の画像と比較しながら腫瘍の摘出等に使用されている。

4. スパインアプリケーション (図 12)

開頭術に使用する他に、脊椎後方固定術のペディクルスクリュー挿入時に使用するスパインアプリケーションがある。頸椎から仙骨までの各範囲でナビゲーションが可能で、リファレンスフレームは、各椎体の棘突起に固定し、術者の指定する解剖学的な点を用いてポイントレジストレーションを行う。サーフェスレジストレーションは各椎体の表面を 30 ポイント以上入力してレジストレーションを行う。術前のプランニングによりスクリューの径や長さを決定し、術中は椎弓根を逸脱しないように確認しながらスクリューを挿入できるので、安全性と確実性が向上すると共に、経験の少ない若い先生方の教材としても活用されている。

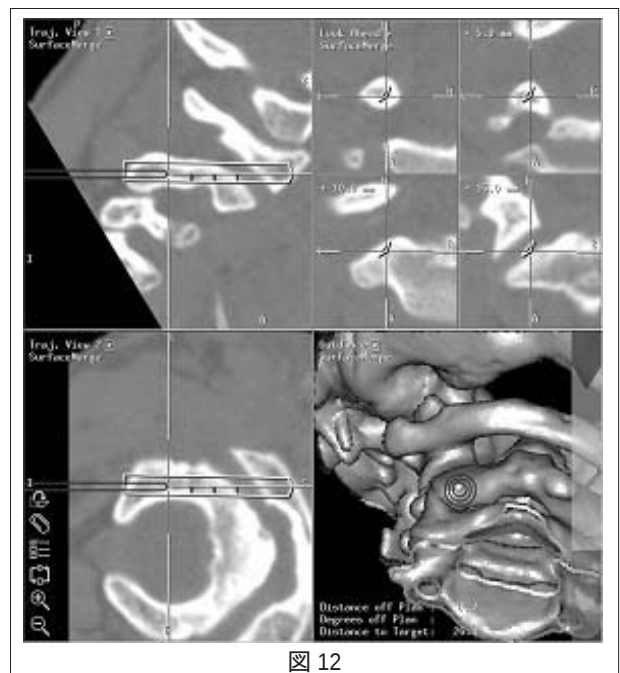


図 12

．ナビゲーションシステムの現状と展望

日本国内でナビゲーションシステムを導入している施設は 200 を超え、主に脳神経外科手術において開頭範囲の決定やオリエンテーションの確認及び術前のプランニングに使用されている。この他に、脊椎の後方固定術や骨折等の外傷手術、また耳鼻科領域では内視鏡下鼻内副鼻腔手術や耳科手術において使用されている。さらに、整形外科手術領域においては、THA や

TKA といった関節手術にも応用され始め、適応領域の広がりをみせている。

また、昨今 mobile CT や open MRI の開発により術中の CT, MRI 撮影および手術操作の進行に合わせて変化していく病変をリアルタイムに撮影することが可能になり、臓器シフトの問題を解決するためナビゲーションシステムの画像をアップデートしながらリアルタイムにナビゲーションを使用することも始まってきている。これに伴い、ナビゲーションシステムへ術中 CT, MRI の画像をより簡便に転送できるような技術的整備や手術室の環境整備が求められている。

さらに、操作性の向上や適応範囲の拡大も期待されており、レジストレーションのより簡単の方法やソフトウェアおよびインストゥルメントなどの開発、改良を行い、今後も手術の安全性、確実性の向上に貢献できるような画像支援システムとして発展できるよう努めていく。