



# Breathe at ease

神経インパルス計測により人工呼吸器が  
より快適に (Maquet 社)

私たちは普段、息を吸いたいときには無意識に吸っています。しかし、人工呼吸器を使用している場合、機械はどうやって患者が必要とする空気の量やタイミングを認識しているのでしょうか？機械の介在は患者にとってストレスとなる場合があり、不快感を最小限に抑えるために、機械は、患者の呼吸開始にできるだけ早めに反応する必要があります。



#### 呼吸の仕組み

呼吸は、脳の呼吸中枢からの規則的なインパルスが伝達されることによって行われます。このインパルスは横隔神経を通り、横隔膜の筋肉細胞を刺激します。これによって筋肉が収縮して横隔膜が下がります。この結果、気道内圧が下がり、肺に空気が流れ込みます。

#### 従来の人工呼吸器

従来の人工呼吸器では、気道内圧の低下または空気の逆流によって、患者の呼吸努力を感知していました。すなわち、一連の呼吸作用の最後の最も反応が遅い段階が、呼吸努力の感知に使用されていたのです。患者は、人工呼吸器が補助を開始する前に自力で呼吸を開始しなければならないのです。

これは、特に体力が弱っている患者にとっては重労働です。また、従来の人工呼吸器は比較的遅い段階で介入するため、人間と機械の間で若干の非同調性が生じる場合があります。この非同調性は、患者の不快感や動揺につながる場合があります。とはいえ、患者の呼吸能力を維持し、自発呼吸を促すために、呼吸作用を完全に代行する人工呼吸器はできるだけ使用しないようにすべきです。

#### NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist)

Maquet 社では、人工呼吸器を改善し、患者のおかれた状況をより快適にするために、患者の呼吸開始を検出する新しい方法を開発しました。気道内圧を計測する代わりに、電極アレイを使用して、横隔膜の電気的作用を検出します(図 1)。単極で計測される未加工の電気信号は、EMG (electromyography) と呼ばれます。EMG に信号処理を行い、横隔膜に關係する信号だけを含むいわゆる Edi 信号を取得します。Edi 信号は人工呼吸器に送信され、患者の呼吸を補助するために使用されます。この方法を使用することで、人工呼吸器は患者の要求に、より速く反応できます。人工呼吸器と横隔膜は同じ信号で動作するので、これらの機械的協調はほとんど同時に行われます。横隔膜の活性化信号は、現在の技術で利用可能な信号の中で最も早い段階で検出されるものです(図 2)。

#### NAVA のテスト

NAVA の中心的な技術は、EMG で行われる信号処理です。EMG のアルゴリズムと SERVO-i 人工呼吸器との相互作用をテストするために、以下の要素から成る試験施設セットアップ(図 3)を使用しました。





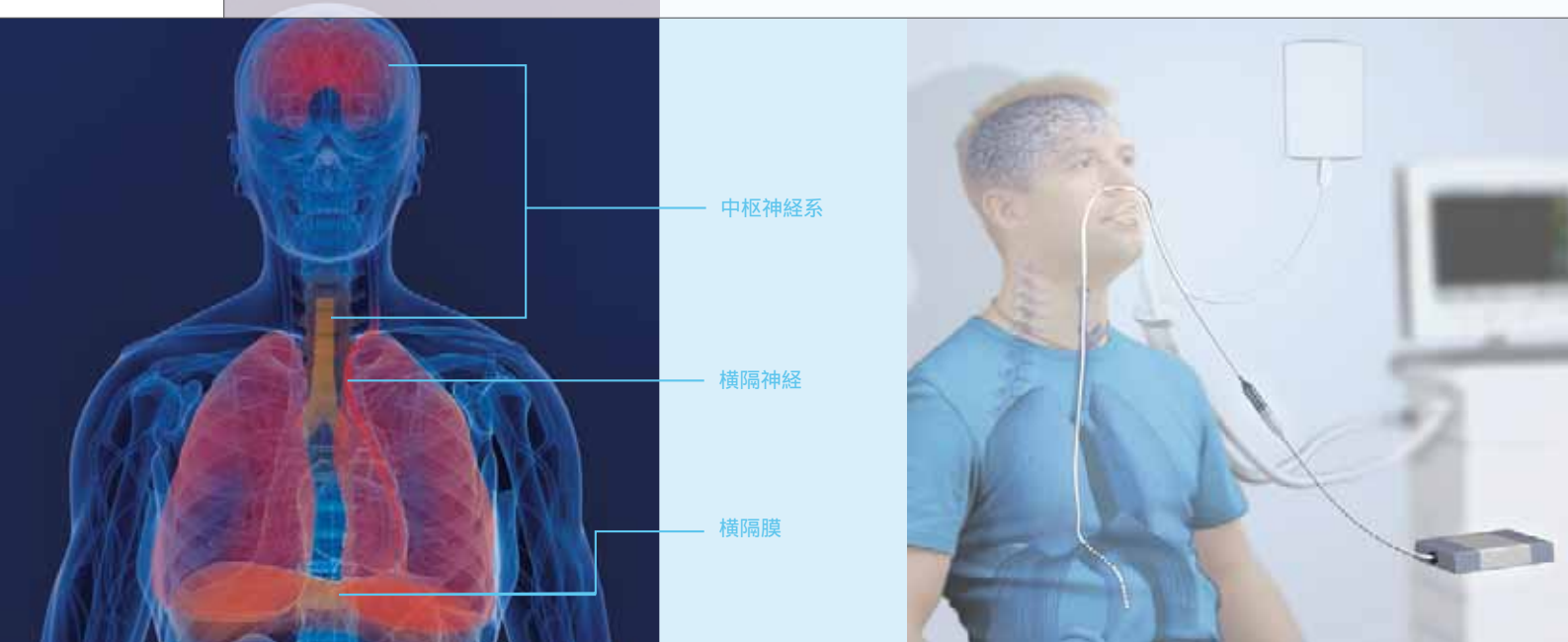


図 1 : 患者への NAVA の取り付け

- 計測後の EMG 信号を提供するカテーテル、または呼吸インパルスとして EMG 信号をシミュレートするシミュレータ
- EMG 信号を処理するための dSPACE DS1005 PPC Board
- 呼吸を人工的に補助する SERVO-i 人工呼吸器

システムのシミュレーションには、以下の 4 つの入力を使用できます。

4. 患者の記録を含むファイル。ファイルを PC から読み込み、C-Lib 関数を介してリアルタイムに dSPACE ハードウェアに転送します。ファイルは、ControlDesk で選択します。

各種入力信号には、呼吸(吸気と呼気)および最適な吸気強度に関する情報が含まれているという共通点があります。dSPACE のモジュール型ハードウェア、DS2002 A/D Board が、これらの信号を受信します。DS1005 PPC Board は、

SERVO-i は、DS2102 D/A Board からアナログ Edi 信号を受信します。この信号はトリガ信号として使用されますが、Edi 信号の振幅に比例して酸素と空気圧を提供することによって患者をサポートするためにも使用されます。

Maquet 社では、dSPACE のテストおよび試験用ソフトウェア ControlDesk を使用して、開発およびテスト用のグラフィカルインターフェースを作成しました。このインターフェースにより、簡単にコントローラモデルを管理および操作できます。たとえば、呼吸モードを選択してその設定を定義し、シミュレートされた EMG 信号と計測された EMG 信号のいずれかを選択することなどが可能です。また、計測された人工呼吸器信号も監視できました。

## 「dSPACE のシステムを使用すると、プロトタイプの設定が容易で、開発プロセスを短縮できます。」

Fredrik Jalde 氏、Maquet Critical Care AB

1. 患者またはボランティアからの実際の入力。この入力は、食道にカテーテルを入れ、横隔膜からの EMG 信号を取得します。カテーテルを患者の体内に入れる代わりに、iPod に 2 本の配線を接続した水管付きのシステムもあります。iPod が水管に対して 2 種のステレオ信号を発生させて、EMG および ECG 信号を提供します。
2. ハードウェアシミュレータからのシミュレート入力。信号発信器が約 200 Hz で正弦波信号を提供します。
3. ソフトウェアモデルからのシミュレート入力。これは Simulink モデルとして実装し、dSPACE ControlDesk を使用して制御します。

EMG のアルゴリズムで信号を処理して Edi 信号を取得するために使用します。

dSPACE システムの最も重要な用途は、EMG 信号の信号処理アルゴリズムに関する作業と SERVO-i 人工呼吸器を調整



図 2 : NAVA 技術は、横隔膜の電氣的作用を利用して、最も速い段階で検出できる呼吸信号を感知します。

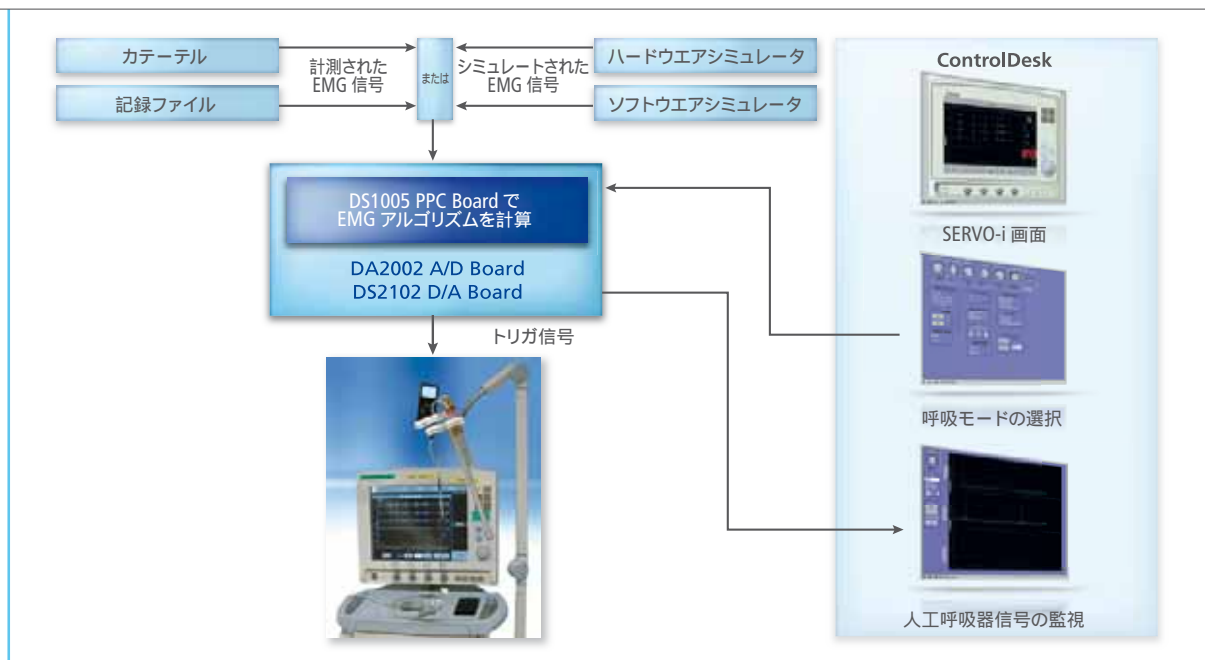


図 3 : NAVA 開発システムの試験施設セットアップ

する必要なくテストを実行するためのプロトタイプの設定でした。

#### 日常での NAVA の使用

NAVA 技術は、Edi モジュールや Edi カテーテルとともに、当社の SERVO-i 人工呼吸器に追加できます。まったく新しい人工呼吸器システムを購入する必要はありません。より一層重要なのは、患者にとって、日常の利用で実感される数々の利用効果があるということです。

- 同調性の改善。NAVA では、息を吸うための神経活動が始まるとすぐに人工呼吸器がオンになります。さらに、吸い込み中に提供される補助レベルは、患者自身の呼吸中枢からの要求によって決まります。オフ段階でも同じことがいえます。人工呼吸器は、息を吐くための神経活動の開始を察知した瞬間に吸い込みをオフにします。Edi 信号の使用によって、患者と人工呼吸器間の同調性を改善できました。
- 肺の保護。NAVA では、患者自身の呼吸要求によって補助レベルが決まります。NAVA は、患者への過剰な補助や補助不足を回避する機能を提供します。
- 患者の快適さ。NAVA では、呼吸筋と人工呼吸器が同じ信号で駆動されます。提供される補助は、神経の要求に適合します。患者と人工呼吸器間のこの同調性は、患者の不快感や動揺を最小限に抑え、自発呼吸を促すために役立ちます。

- 取り外しと抜管決定のサポート。Edi 信号は、人工呼吸器のサポートレベルを設定し、人工呼吸器からのウィーニング（離脱）を最適化する指標として使用できます。患者の状態が改善されると、Edi の振幅が減り、結果として、人工呼吸器が提供する圧力が減少します。この圧力減少が、患者を人工呼吸から離脱させて抜管するかどうかを決定するための指標となります。■

Fredrik Jalde  
Control Engineer Mechatronics  
Maquet Critical Care AB  
スウェーデン

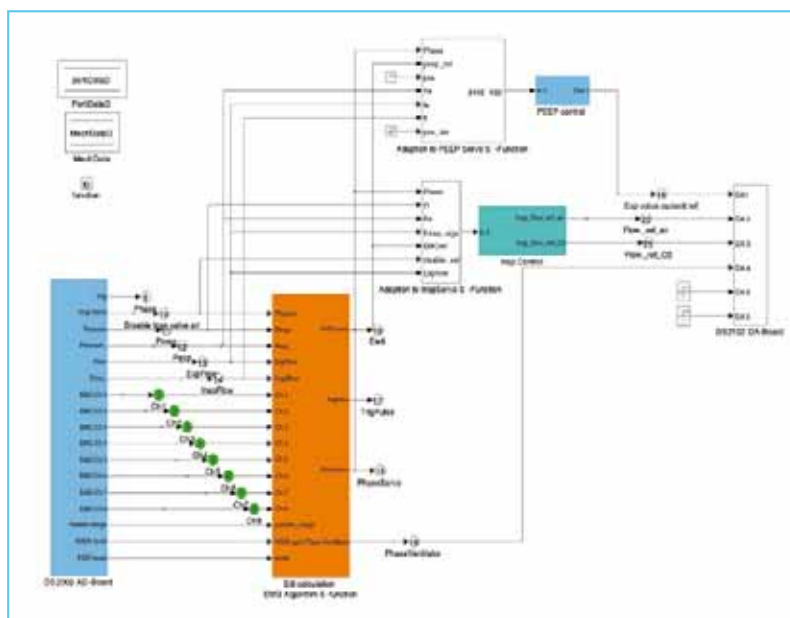


図 4 : SERVO-i の EMG 制御用 Simulink® モデル