

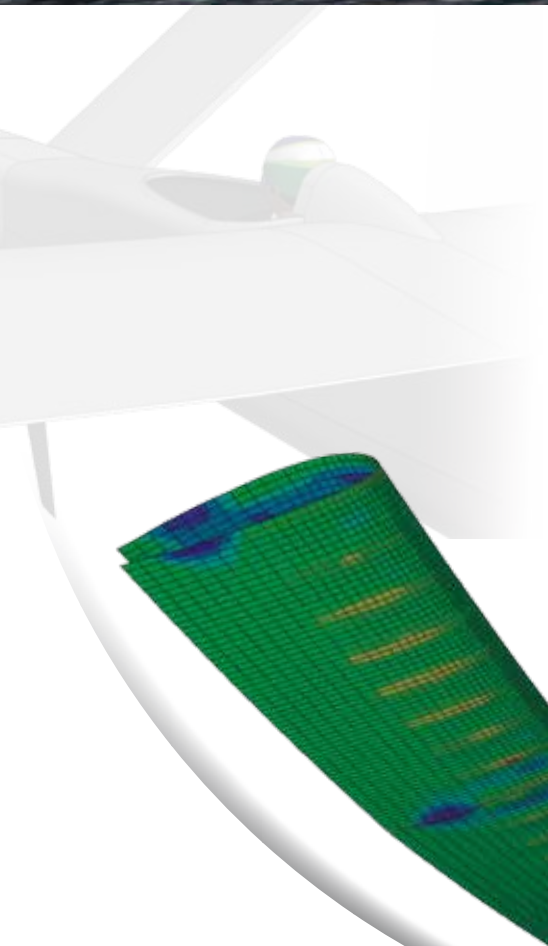
CAEで 風をとらえる



2本のウイングセールとキールは艇体中央部を通じて剛結されています。パイロットはこの部分を覆っているカバーを引き込むことで、ポートがタックするときウイングセールとキールが90度回転できるようにします。



図 1



Abaqusによって、異なるアプローチを取った場合の影響を迅速かつ効果的に可視化することができました。

Tim Clarke 氏
Verney Yachts 社の創業者
およびエンジニアリングリーダー

Verney Yachts 社はヨットの世界最高速を目指して、Abaqus FEA を用いた試作ゼロのヨット開発に取り組んでいます。

スピード記録への挑戦 - それは昔からエンジニアや発明家のイマジネーションをかき立ててきました。セーリング界のスピード記録は、ごく最近 (2009 年 9 月) 水中翼付きの三胴艇「イドロプテール号」によって達成されました。* それまでの記録保持者は、カイトサーファーやウインドサーファー、プロア艇や双胴艇 (クロスボウ I & II 号) などでした。500 メートルのスピード記録が初めて世界帆走スピード記録評議会によって公認されたのは 1972 年であり、そのときのスピードは 26.30 ノット (時速 48.7 キロ) でした。最新の記録は 51.36 ノット (時速 95.11 キロ) とほぼ倍増しています。

スコットランド・アバディーンの Prospect Flow Solutions 社でエンジニアリングチームのリーダーを勤めていた Tim Clarke 氏は、初めてイドロプテール号チームの記録更新計画に関する記事を読んだとき、高速セーリングに強い興味を抱きました。子供の頃に帆船と飛行機にとても興味を持っていた Clarke 氏は、彼らのアプローチに欠点があるように見え、自分ならもっとうまくできるだろうと考えました。彼は夜も週末もいとわず働き、2009 年 1 月に Verney Yachts 社を設立すると、ヨット設計のさまざまな固定観念を打ち破るコンセプトの開発に寸暇を惜しんで取り組みました。

Clarke 氏のアイデアは単胴に 2 本のウイングセールを備えるものでした。その名が示すように、それは翼 (ウイング) と帆 (セール) ともつかない構造です。彼の設計したウイングセールは柔らかな材質ではなく、複合材でできた硬質なものです。ボートがタックするとき位置と機能の両方を切り替えることが可能であり、水面に平行なときは翼となり、垂直なときは帆となります (図 1 参照)。

この新コンセプトのボート「v-44 アルバトロス号」は現在計画段階にあって、まだ建造できるかどうか分らず、試作艇さえ組み立てられていないにもかかわらず、Verney 社のチームは現行のスピード記録を 20 パーセント上回る 65 ノット (時速 120 キロ) 以上を目標に設定しています。

コンセプトを形あるものにするため、チームは Dassault Systèmes のリアリスティック・シミュレーション・ブランドである SIMULIA の Abaqus FEA に助力を求めました。このソフトウェアを用いることで、彼らは 3D コンピュータモデル上で各部材の構造強度、風荷重に対する応答、船艇の流体力学的・空気力学的な特性などを解析し、ボートの性能をバーチャルに試験できるようになります。また、この画期的なウイングセールの性能上極めて重要な構造体の選定、評価、そして最適化も可能になります。

ウイングセールの仕組み

ウイングセールは決して目新しいものではありません。2010 年 2 月に行われたアメリカズカップでは、三胴艇ヨット「BMW オラクル」が、ウイングセールを用いて競争相手を圧倒しました。また、ウイングセールを装備したランドヨット「グリーンバード」が 2009 年 3 月に時速 202.9 キロ (時速 126.4 マイル) をマークし、陸上での風力スピード記録を更新しています。

一般的な飛行機が安定性を保つために尾翼を必要とするのに対して、ウイングセールは別の方法で安定性を実現しています。たとえば BMW オラクルは、2 体構造の電動式後縁フラップによって安定性を実現しています (高速セーリング記録のルール外)。また、グリーンバードは、前縁部のカウンターウェイトと尾翼を追加することで達成しています。しかし v-44 アルバトロス号では、ウイングセール自体が安定性を担います。

v-44 アルバトロス号の全長 13 メートルのウイングセールは、内側プラंक (ウイングセールの艇体に最も近い方の半分) と外側プラंकの 2 つの部分で構成されています (図 2 参照)。その断面形状は (ステルス爆撃機のような) “無尾翼機”あるいは“全翼機”の技術に由来しており、翼形状設計は基本的に安定性を考えて設計されています。さらに、各プラंकのカウンターウェイト (グリーンバードと同様のもの) によっても安定性はもたらされます。ただし尾翼は用いていません。Clarke 氏は次のように説明しています。「もし安定性を保つために尾翼を用いるとしたら、4 枚のプラंकのそれぞれに 1 つずつ必要になります。しかし、それでは、重くなりすぎます」

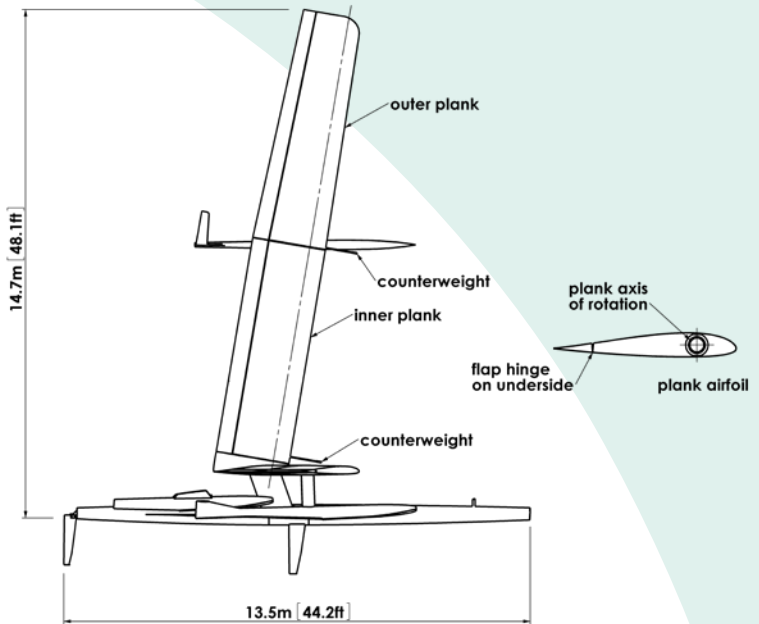


図 2. v-44 アルバトロス号のウイングセール構造の概略図

具体的には、v-44 アルバトロス号の各プラंकは、その回転軸に関して空力的にも質量的にもバランスが取られており、風見鶏や風向計のように、気流の中で自然な姿勢を保つよう工夫されています。すなわち、回転軸の中心に位置する管状スパーと同様の挙動を示すよう設計されており、曲げ荷重を受けても回転しないようになっています。ウイングセールが曲げ荷重を受けて回転すると、ボートの空力的なバランスが崩れます。このような理由から、通常の飛行機翼やウイングセールとは異なる構造的アプローチが必要でした。このウイングセールの設計はまだ実地に試されていないため、FEA によるバーチャル設計の果たす役割は、プロジェクトの成功にとって極めて重要です。

ウイングセールのモデリング

構想設計から基本設計に進むにあたって、Clarke 氏と彼のチームはウイングセールに多数の設計変数を定める必要がありました。Clarke 氏は次のように話しています。「Abaqus を用いることで、異なるアプローチを取った場合の影響を迅速かつ効果的に可視化することができました」設計サイクルの早い段階から、チームはまず Abaqus を用いて主要なモデルのいくつかを作成し、このソフトウェアの対話モジュールが持つさまざまな機能を利用して、それらのモデルを (部品類を最小限に抑え、主要部材に重点を置くことで) 単純化しました。彼らはまた、さらなる 3D モデリングとデータ管理のために SolidWorks Premium を使用しました。

ウイングセールの構造と機能は非常に複雑であるため、エンジニアリングチームは、解析を 3 段階 (スパー、リブおよび二次構造、外板) に分けて行うことにしました。それぞれの段階で、彼らは構造体を組み立てて細部を追加していくうちに、ウイングセールが方位にとらわれないで管状スパーと同様に機能することを確認したいと思いました。

彼らは荷重ケースとして最悪のシナリオを選定しました。すなわち、ウイングセールが水平状態にあって、キールが水中にわずかに没しながらボートが高速走行している場合です。このとき、ウイングセール全体に揚力が生じると同時に、最大の曲げ荷重が発生します。シミュレーションの実行には、32 GB RAM を搭載する 64 ビット Windows ワークステーションが用いられました。

カスタマスポットライト

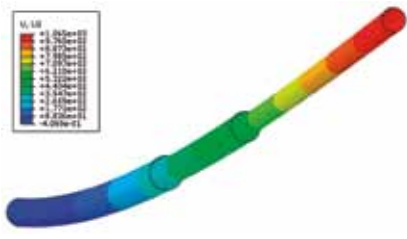


図 3. 炭素繊維複合材メインスパーのたわみ解析結果



図 4. v-44 アルバトロス号のウィングセルのメインスパーに直接適用された表面力荷重

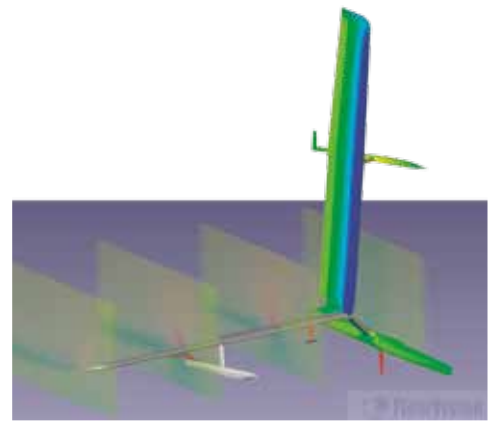


図 5. 艇速 40 ノットにおける速度ベクトルと圧力分布の CFD 解析結果

ウィングセルモデルの解析結果

Verney チームは、最初、ウィングセルの複合材でできたメインスパー（3本のパイプがベアリングで結合され、入れ子構造になっている）を解析しました。それは、ウィングセルの前縁部を貫く背骨の役割を果たしています。表面に分布荷重を作用させた結果、先端の最大たわみ量は約 1メートル程度となりました。これは 13メートルあるスパー全長の 7.7パーセントです（図 3 参照）。最大応力に関しては、リザーブファクタ（強度を示す係数）が圧縮で 1.5、引張で 2.9 という結果になりました。

次の解析の準備として、エンジニアリングチームは、炭素繊維で被覆された一連の発泡材リブ（それぞれは、ウィングセルの断面形をしている）や、前縁と後縁の複合材スパーなどの二次構造を追加しました（図 4 参照）。これらの二次構造は、各ブランクを形作るとともに、空力荷重をメインスパーに伝えます（ただし、メインスパーと部分的に切り離されており、構造全体の剛性をあまり増大させないようにしています）。シミュレーションの結果、荷重方向に垂直なたわみ量はわずかで、0.5～1.4パーセントの範囲に収まることが分かりました。

3番目の解析で、Clarke 氏と彼のチームは、マイラー樹脂 / 発泡材の外板、後縁の構造発泡材、およびリブ間のワイヤブレースを追加して、アセンブリ全体を調べました。後縁の発泡材はソリッド要素、ワイヤブレースは剛体ビーム、そしてマイラー樹脂 / 発泡材は積層複合材用の標準的な厚肉シェル要素を用いて一層でモデル化されました。外板を熱収縮させることで張力が適用されました。シミュレーション結果は、荷重方向に垂直なたわみ量が 0.4～1.7パーセントの範囲にあることを示していました。彼らは、この全体アセンブリモデルを用いて、外板のたわみ量と二次構造の絶対最大応力も計算しました。

これら 3段階の解析によって、ウィングセルの構想設計の妥当性が検証され、同時にいくつかの設計課題が示されました。1つは、モデル化された質量が構想設計時よりも増大したことです（ボートのレイアウトと制御システムに関する変更がウィングセルの質量を 20パーセント増大させ、メインスパーの直径を 12パーセント拡大させていました）。また、メインスパーの圧縮応力に対するリザーブファクタが 1.5となり、目標値の 2.0を下回っていました（今後、最適化することで複合材の積層方法を改善し、応力を低減できると思われます）。さらに、全体的なたわみ量が 10パーセント未満だったことが分かりました（2本のウィングセルの無負荷時の位置を艇体上で調整し、それらを 90度以上離すことで補正できます）。

Verney チームは現在、Capvidia 社（SIMULIA パートナー）の FlowVision HPC ソフトウェアを用いて、ボートの空気力学的・流体力学的特性を調べるための大掛かりな計算流体力学（CFD）解析に取り組んでいます。水面より上の空力特性を調べる流体と構造の相互作用（FSI）の解析では、Abaqus と CFD ソフトウェアを組み合わせることで、独立して回転する 6つの面（4つのウィングセルブランクと 2つの船外浮材）の動きが、ボートのさまざまなスピードにおいて記録されます（図 5 参照）。CFD リーダーの Steve Howell 氏は次のように話しています。「これによって、ボートが建造される前に帆走状態を

バーチャルに試験することや、制御システムの調整が可能になります」自由表面の流体力学解析も実施される予定であり、スピードに不可欠なキールなどのデザインと性能が調査されます。

設計が確定したあかつきには、試作や風洞・曳航水槽試験を実施することなく、v-44 アルバトロス号は建造される予定です。このようなコンピュータシミュレーションのみのアプローチを採用したプロジェクトには、Richard Noble 氏が率いる記録破りの超音速自動車「ブラッドハウンド」、Richard Branson 氏の「ヴァージン F1 レーシングチーム」、そしてアメリカズカップの勝者である「BMW オラクル」があります。プロジェクトリーダーの Scott Tuddenham 氏は次のように話しています。「我々の行っているようなプロジェクトでは、プロトタイプのコストは恐ろしく高額です。誤りは許されません。やり遂げるチャンスは 1 回だけです」

高速セーリングの記録を目指して

Dassault Systèmes (DS) は、Verney チームの目標達成を応援するため、v-44 アルバトロス号のプロジェクトを「Passion for Innovation」プログラムの 1つに選定しています。このプログラムの目的は、個人や団体がその革新的アイデアを実現できるよう支援することであり、その趣旨に沿って Dassault Systèmes の 2 つ組織 SIMULIA と SolidWorks が、Verney チームの夢の実現に向けてソフトウェアとサービス、そしてサポートを提供しています。

高速セーリング記録への挑戦は 2013 年の初めに予定されており、そのために選ばれた場所は、次の夏季オリンピックでセーリング競技会場となる英国のポートランド港です。Verney チームは、彼らのボートが公式距離の 500メートルをぎりぎり 16秒またはそれ以下で疾走することを期待しています。そのとき v-44 アルバトロス号は、キールだけで水を切りながら、文字通り水上を飛ぶように走ることでしょう。

コンピュータシミュレーションのみの設計の実現には、設計の裏付けとなるテクノロジーへの信頼性が極めて重要です。Clarke 氏は次のように話しています。「私はこれまで、FEA は適切なプロトタイプを生み出すための道具だと考えていました。しかし今や我々は、このソフトウェアを用いて設計から最終製品へと一直線に進んでいます。エンジニアリングの素晴らしい時代がやってきたのです」

*現在のスピード記録は 55.65 ノットであり、Rob Douglas 氏（米国）設計のカイトボートによって達成されています。

詳細は以下をご覧ください

www.verneyyachts.com