船の技術図鑑

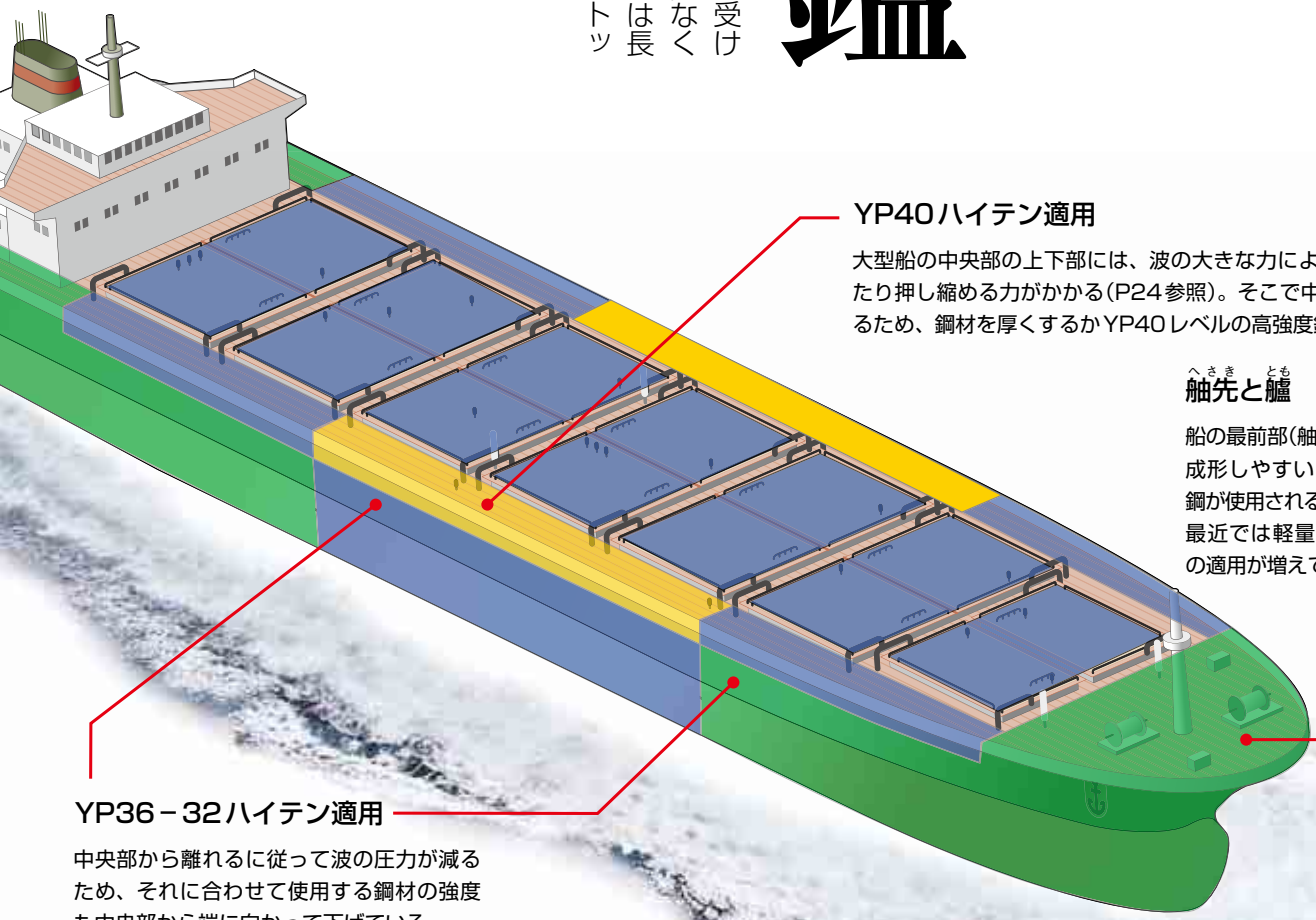
グローバルな物・人の移動に使われる船。船体構造の主要材料である鋼材には、波から受ける力に負けず貨物や乗員を守る「強さと粘り」、燃費を向上させる「軽さ」、波の抵抗を少なくし速く航行する船型を実現するための「成形しやすさ」などが求められる。新日鉄住金では長年にわたり、造船メーカーや船社と連携し、高機能鋼材を提供してきた。これからも常にトップランナーとして技術革新を続け、日本の海運・造船業の発展を支えていく。

Advanced Technology

新日鉄住金のものづくり

強さ・軽さ・成形性を満たすハイテン

船は鉄でできている。船に使われる鋼材には第一に「強さと粘り(靱性)」が求められる。鋼材は強さを追求すると脆くなる傾向があるが、新日鉄住金は強度と靱



YP40ハイテン適用

大型船の中央部の上下部には、波の大きな力により船体を引っ張ったり押し縮める力がかかる(P24参照)。そこで中央部の強度を上げるため、鋼材を厚くするかYP40レベルの高強度鋼板が使用される。

舳先(へさき)と艫(とも)

船の最前部(舳先)と最後部(艫)は成形しやすいYP24レベルの軟鋼が使用されることが多かったが、最近では軽量化のためハイテンの適用が増えている。

YP36－32ハイテン適用

中央部から離れるに従って波の圧力が減るため、それに合わせて使用する鋼材の強度も中央部から端に向かって下げている。

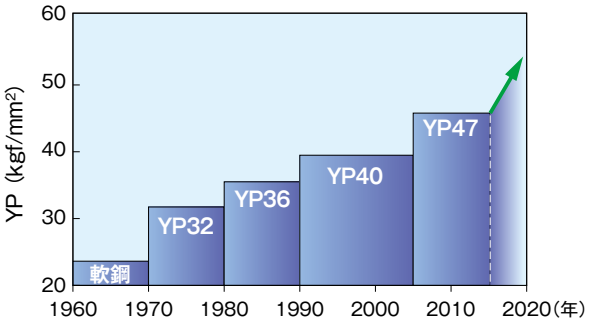
性を両立した鋼材を開発。それがハイテンだ。またハイテンを使用すると、板厚を薄くして船体に使用する鋼材の総重量を減らすことができ、燃費の向上や建造コスト低減につながる。

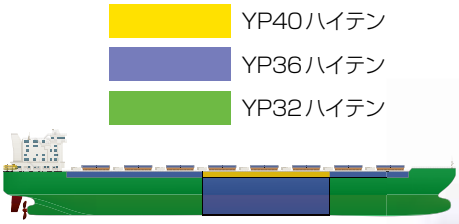
新日鉄住金では、1950年代にYP36ハイテンの開発に成功したのを皮切りに、絶え間ない技術革新を続け90年にYP40、2006年にはYP47を実用化し、国内外の造船メーカーに納入している。造船メーカーでは各部位に求められる強度や成形性などを考慮して、さまざまな強度のハイテンを組み合わせて採用している。

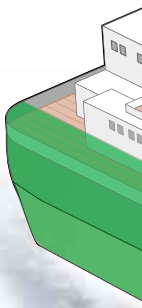
ハイテン実用化の推移

ハイテン：高張力鋼。High Tensile Strength Steel

YP(Yield Point)：塑性変形(変形を引き起こしている荷重を取り除いた後、元に戻らずに残っている変形のこと)を起こさずに、材料に加えることができる最大の力の大きさ。





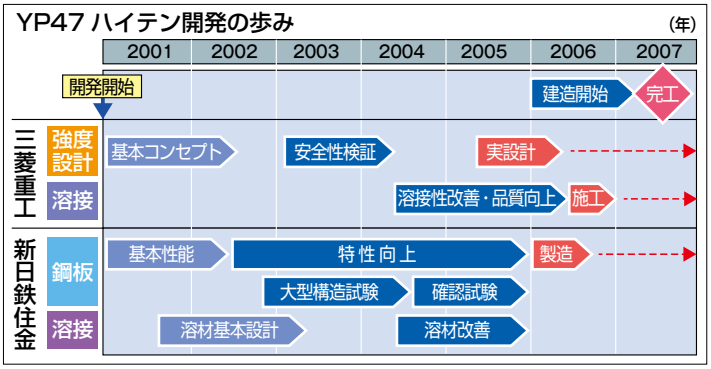


ものづくりの源泉は造船・鉄鋼メーカーが一体となった技術開発

三菱重工業(株) 長崎造船所
船海技術総括部　主席技師（工学博士）　**廣田 一博氏**

鋼材と船体構造の開発は、多くの面で造船メーカーと鉄鋼メーカーが一体となって作業を行う必要があります。新機能を持つ材料を適用するにあたっては、私たちがその機能を十分に理解し初期段階から設計に織り込むだけでなく、船を25年という長い期間にわたり保有・運航するお客様に信頼していただくことが大変重要です。そのためには適用範囲やメカニズム、検討結果、メリット試算をすべて終え、船級協会の承認を得た上で、お客様に商談段階で説明し了解していただく必要があります。

当社と新日鉄住金は、一体となってさまざまな課題をクリアし、お客様に満足いただける船を世に送り出してきました。お客様から信頼を得ることは、何物にも替え難いものです。今後ともグローバルな視点で共同での技術開発を継続していきたいと考えています。



お客様や学協会とも連携し、開発開始から初適用船の引き渡しまで約7年間で実用化に至った。

ここまでやる！　超大型構造モデル試験で鋼材性能を確認

新日鉄住金には、実際の船を模した構造で鋼材の性能を確認することができる、超大型の引張試験設備があります。

この設備を利用して新開発ハイテンの最終確認として大型構造モデル試験を行いました。具体的には、実物大の鋼板(試験体 幅2・5m、長さ7・2m)をマイナス10℃に冷却し、長さ1・2mの脆性亀裂を停止できるかどうかを確認するものです。新開発ハイテンはこの試験でも優れた性能を示し、新日鉄住金は実船への適用を決定しました。

新日鉄住金の研究所で8,000トン大型引張試験設備を用いた構造モデル試験の様子。作業者と比べると、その大きさがわかる。

ウェブサイトで動画を公開しています。季刊 新日鉄住金　検索

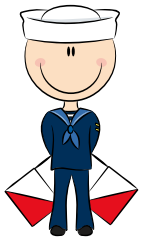
より強く

1997年1月、ロシア船ナホトカ号が日本近海で積載重油の流出事故を起こし、日本海沿岸区域に重大な環境被害をもたらして大きな社会問題となった。事故原因はメンテナンス不足による部材の過度の損耗と、風雨の激しい荒れた天気の中を航行してきたとき大波に遭遇し、大きな波浪荷重を受けて船体を折損したためだった。

波浪荷重により船は上に曲がったり(ホグング)、下に曲がったり(サギング)するため、船体がこの力に対抗するために必要な構造強度を持っていないと、真っ二つに折れてしまうこともある。また船体折損に至らないまでも、繰り返し大きな波浪荷重が作用することで、構造材の鋼板に金属疲労が生じ疲労亀裂が生じる恐れがある。

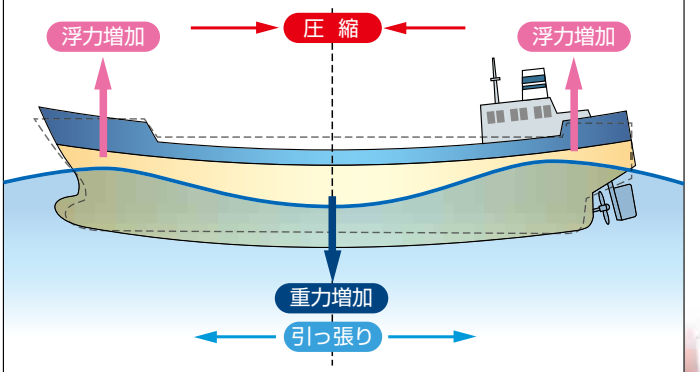
これらを防止するため、船体構造の設計においては、世界の海で最も波浪の厳しい北大西洋の最大波を設計条件とし、最新の強度・疲労解析手法を用いながら、各部位に最適な特性を持つ鋼板を選定していく。

新日鉄住金は、高い強度を持ち脆性亀裂を止める「EH47」(三菱重工業(株)と共同開発)、疲労亀裂の進展を防ぐ「FCA®鋼」を開発し、船の安全設計を実現している。



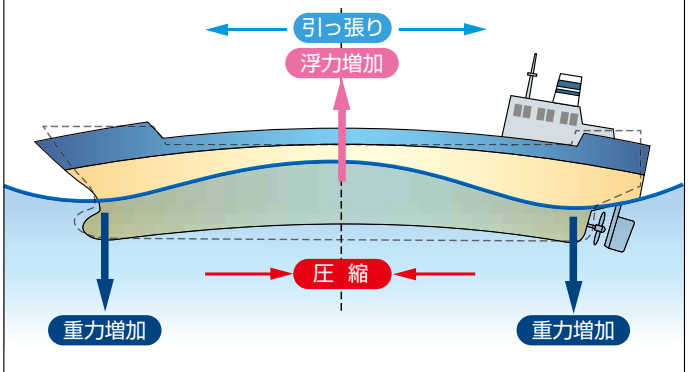
船の強度設計で最も重要な指標となる波の圧力

サギング



波の谷間に船体の中央がある場合、船の真ん中を下向きに押し縮める力が働く。この現象をサギングという。

ホギング



波の山に船体の中央が乗っているような場合、船の真ん中を上向きに押し縮める大きな力が働く。この現象をホギングという。

©三菱重工業(株)長崎造船所

安全設計を実現する鉄

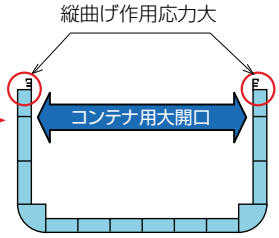
EH47 溶接部の脆性亀裂を止める

鋼材に一旦脆性亀裂が発生すると秒速1kmの速さで伝わり、船が一瞬で破壊される場合がある。「EH47」は、高強度でありながら靭性に優れ、溶接部などに潜在的に存在する欠陥から、万一船体に脆性亀裂が発生した場合でも亀裂を止めることができ、船の安全性をより高い次元で実現することができる厚板。また高強度のため、鋼材を薄くし軽量化できることで船の燃費向上にも寄与している。

適用実績　コンテナ船 MOL CREATION　©(株)商船三井

コンテナ船の構造上の特徴

©(株)商船三井



断面

コンテナ船はコンテナを搭載するため、大きな開口部が船体の上甲板に設けられている。そのため船体を曲げようとする荷重(縦曲げ)を受け止める構造部材が少ない。鋼材を厚くすれば、十分な船体構造の強さを発揮できる。しかし厚手化すると鋼材の靭性(ねばり)が低下し、脆性亀裂に対する抵抗が低下するという課題があった。EH47はこの課題を解消した。

FCA®鋼 疲労亀裂の進展を抑えて寿命を延ばす

鋼材は長期間にわたって繰り返し力を受けると疲労破壊する危険がある。従来の設計では疲労による亀裂の発生を防ぐという考え方が一般的だった。

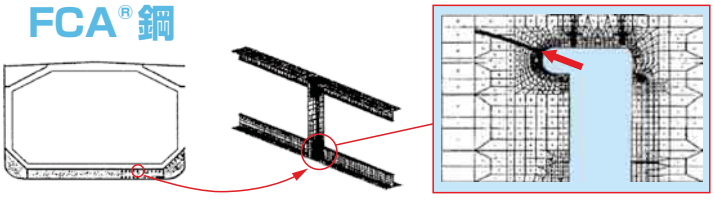
FCA®鋼(※)は、発生した疲労亀裂の進展を抑制することで疲労破壊に耐えるという新しい設計思想で開発された厚板だ。鋼材の厚みを増やしたり補強部材を入れたりしなくても適用部位の寿命を長くすることが可能で、船体重量を増やさずに済むことによる燃費向上や造船メーカーの工程省略などが期待でき、船の信頼性向上とライフサイクルコスト低減に貢献している。

適用実績　LPG船 BERLIAN EKUATOR　©日本郵船(株)

適用範囲　LPG船フロア部のロンジスロット部など

船底フロア部の大きな応力が加わる部位に適用。波浪の繰り返しによる応力の変動が疲労寿命に影響を与える。FCA®鋼適用部位の疲労寿命は従来鋼の約2倍以上に改善されると評価されており、安全性と信頼性を飛躍的に高めている。

※ Fatigue Crack Arrester鋼



より速く

船は海水からさまざまな抵抗を受ける。特に船が水をかきわけて進むとき、船首から生まれる波の抵抗はエネルギーを浪費する大きな要因の一つだ。

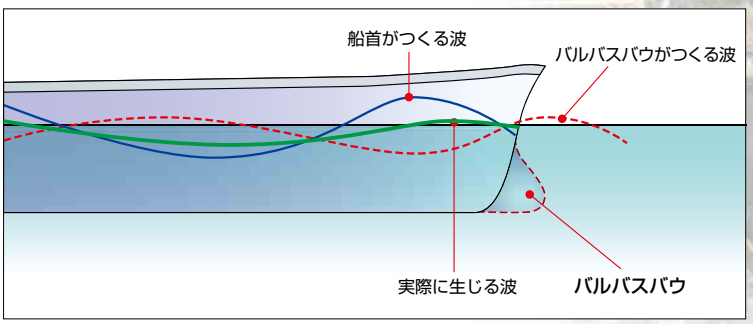
波の抵抗を低減するためには、海中に沈んでいる部分は流線型、海面付近は波を立てにくいように先端が尖った形状であることが望ましい。そこで1911年、アメリカの造船学者D・W・テーラーによって「バルバスバウ」という球状船首が考案された。

第二次世界大戦中には戦艦大和や武蔵に適用され、造波抵抗の低減によって船の速力が上がり、燃費向上による約8%の省エネルギー効果をあげた。現在では数値流体力学の計算技術を駆使して、より抵抗の小さな船型への改良が続けられている。

新日鉄住金のハイテンはバルバスバウなどの曲面形状をつくり出す成形性を高めた。

波の抵抗を低減する「バルバスバウ」の原理

喫水線下のバルバスバウが水面部分の船首に先行して波をつくり、船首がつくる波の山と谷が重なって互いに干渉し合う。すると、船首で波が発生しにくくなり、造波抵抗も低減する。



新日鉄住金のものづくり

セイフティーバウ

衝突安全性を高めることにも、新日鉄住金の鋼材を活用したバルバスバウが貢献している。新日鉄住金が構造用に世界で初めて開発した鋼材を今治造船(株)が実船に適用(「セーフティバウ」)。開発鋼材の「変形しても硬くなりにくい」「延びが大きくエネルギー吸収が大きい」という特性を活かした設計により、万一他の船に衝突した場合の相手船の損傷を小さくできる。(独)海上技術安全研究所の協力を得て実施した衝突シミュレーションでは、従来に比べ相手船への圧迫力は50%程度低下し、破孔も縮小するという結果を得た。

平らな鋼板から船首部のような３次元の美しい曲線に仕上げるためには、加熱や冷却の繰り返しによる形状変化を常に確認し、予測しながら作業することが求められ、技能者の長年の経験と勘に頼るところが大きい。加熱方法には線状焼き、三角焼きなどの工法があり、曲がりの状態を見ながら最適な工法を適用している。最終形状は木型などを使用して仕上げていく。

鋼を自在に操る ―ぎょう鉄

三菱重工業(株)長崎造船所を訪ねて

バルバスバウの球体形状のように、船の美しい曲面は、「ぎょう鉄」と呼ばれる加工法でつくり上げられている。大きな波の力にも負けない強度を持つ厚板を複雑に曲げてつくり込む技術だ。

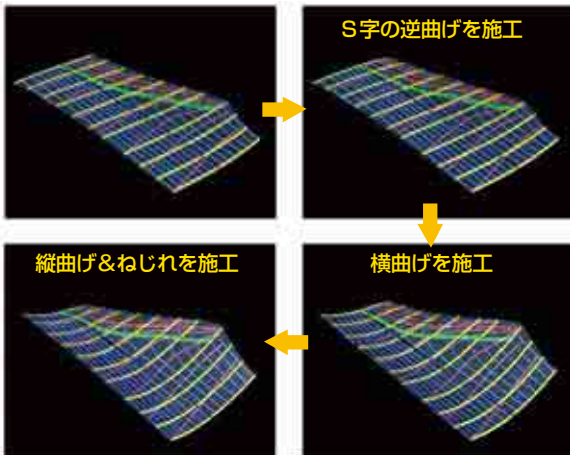
造船所では技能者がガストーチと水ホースを両手に持ち、加熱したり冷却したりを辛抱強く繰り返し、曲げたり縮めたりして滑らかな曲線に加工している。一人前の技能者になるまで十数年もかかると言われている匠の技だ。

ぎょう鉄という三次元曲げの工程は、設計者にとっても部材をどのように切り出せばよいのかという点が難しいという。部材を切り出すためには、三次元形状を二次元の鋼板に展開しなければならないからだ。船首の美しい曲面には、ぎょう鉄技能者の匠の技と設計者の知恵が詰まっている。

ぎょう鉄作業

匠の技をITツールで支援

(独)海上技術安全研究所での曲率線展開法の実証実験。曲率線に基づいた加工の施工手順を示すことで、かなり複雑な鋼板成形を担当する熟練技能者には施工効率化ツールとして、また作業のイメージがつかめない若手技能者には支援ツールとして、実際の造船所で活用されている。



取材・データ提供：
(独)海上技術安全研究所主任研究員(工学博士) 松尾 宏平氏

(独)海上技術安全研究所　谷澤 克治工学博士(流体性能評価系長)に聞く

当研究所では、実際の船型や重量を相似再現した模型船を使い、船の安全設計を実現するための理論計算手法や実験計測手法の開発に取り組んでいます。また、より波の抵抗の小さな船型を開発する上で重要な役割を果たす性能評価を実験的に行う研究を行っています。当研究所の実海域再現水槽では、船が実際に航行する海象の下での性能を調べるため、波を人工的に発生させる大変高度な造波技術を保有しています。

驚異の造波技術をウェブで公開中！

水面に浮かび上がる「波」の文字

実海域水槽では、さまざまな模様や文字を波で自在に描き出すこともできる。

ウェブサイトで動画を公開しています。 季刊 新日鉄住金 検索

より安全に

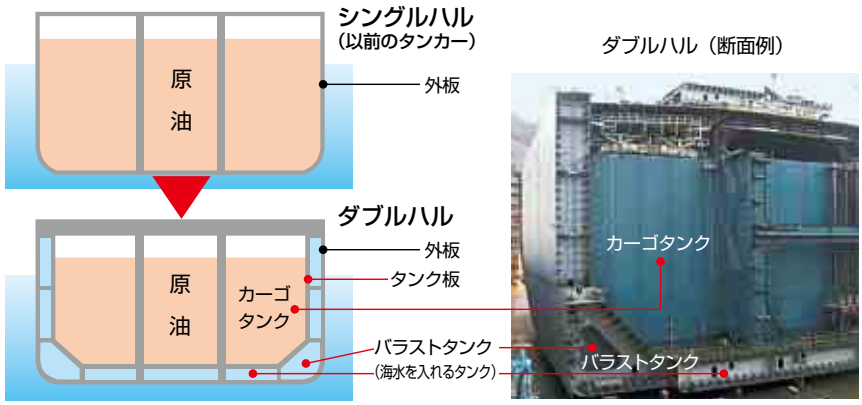
大型船が衝突した場合、衝突された船に大きな損傷を与え沈没などの危険があるだけでなく、積荷が海上に流れ出ることで海洋汚染も引き起こしかねない。特に原油タンカーによる大規模な海洋汚染の防止対策に関して基準整備・研究が進んできた。

一つはタンカー構造の見直しだ。1990年代以前はタンカーには外壁が1枚しかなく(シングルハル)、タンクの外はすぐ海だった。これではタンクに穴が開いてしまったとき原油が海に流出してしまう。そこで外壁を二重にしたダブルハルタンカーが設計されるようになった。1992年には国際海事機関で、新造タンカーに対してダブルハルタンカーと呼ばれる構造方式を義務づける海洋汚染防止条約の改正案が採択され、現在では多くの原油タンカーがダブルハル化している。

もう一つの対策は緩衝型船首構造(Buffer Bow)の検討だ。車はチャイルドシートやエアバッグの耐衝突性能について実際の車での衝突実験が義務づけられている。しかし船は一隻の建造コストと工期から物理的に実機破壊試験が非常に難しいため、FEMシミュレーション解析によって衝突・座礁の事故解析や安全基準策定のための評価が行われている。

緩衝型船首構造とは、通常の航海時には波浪荷重などに対して十分な機能を保持しながら、万一衝突した場合には「自船においてもエネルギーを吸収する」という構造コンセプトである。(独)海上技術安全研究所において、緩衝型船首構造の一つのプロ

ダブルハル構造



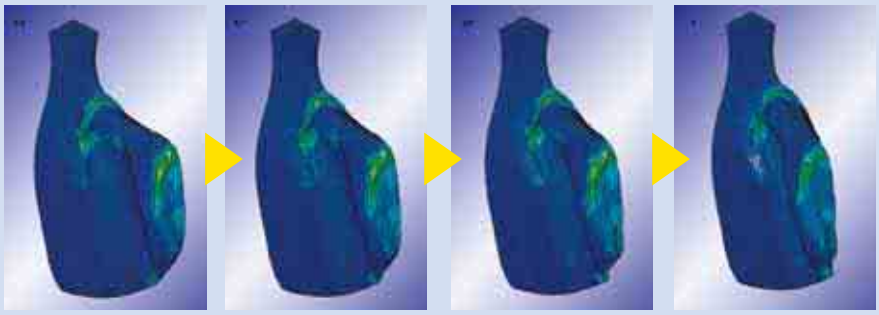
FEM解析技術

高度な解析技術を駆使して安心、安全に貢献

(独)海上技術安全研究所主任研究員(工学博士)
山田 安平氏

当研究所と新日鉄住金はお客様や学協会と連携し、衝突時の船体変形を時々刻々とシミュレーションする高度なFEM解析(陽解法)により、燃費低下を招く鋼板の厚肉化を抑えながら、衝突時の安全性を高めた強靭な鉄鋼材料と船体構造の開発を進めています。緩衝型船首構造の実用化をはじめ、安全や環境保全への貢献が期待されています。

衝突角度72°での船首のFEM解析例



データ提供：(独)海上技術安全研究所

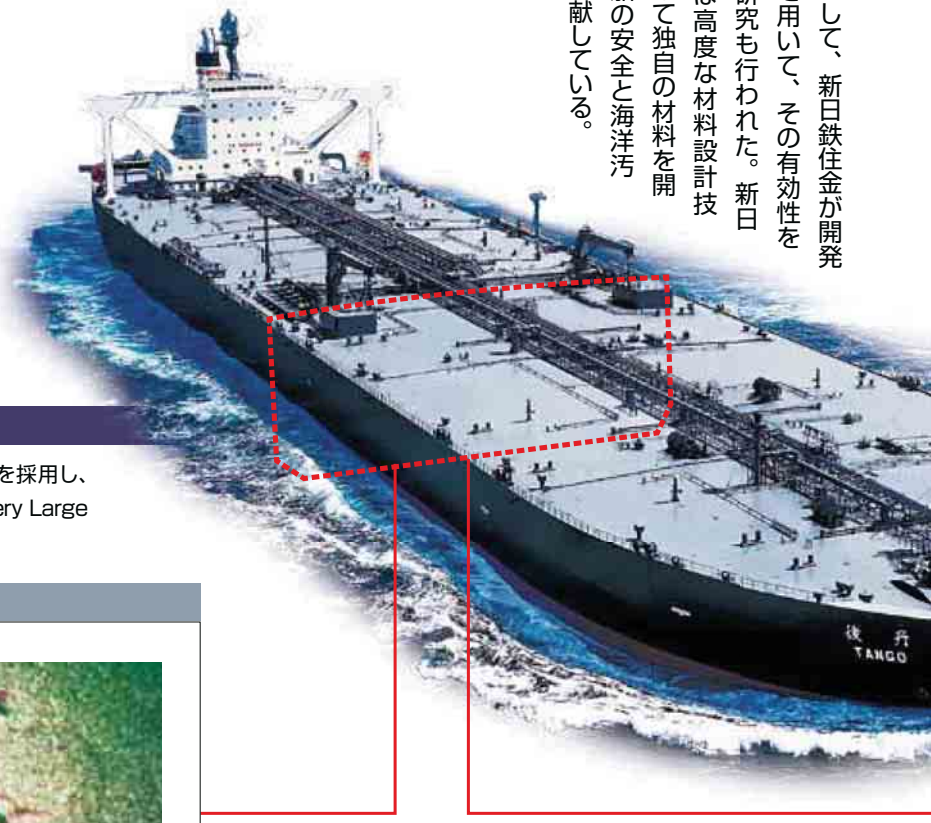
耐食ソリューション

NSGP®-1

原油漏れを防ぐ鉄

油漏れなどの重大な事故につながる恐れのある原油タンカーのタンク底板の腐食を防ぐため、新日鉄住金は日本郵船(株)と共同で「NSGP®-1」を開発。タンク底板の腐食に対して抜本的な耐食ソリューションを提供している。さらに、タンク天井部(甲板)の全面腐食に対して優れた耐食性を持つ鋼材「NSGP®-2」の研究開発にも取り組んでいる。

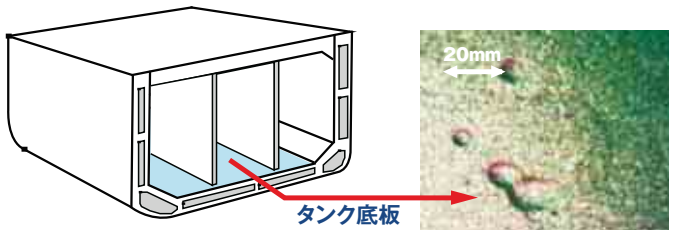
トタイプとして、新日鉄住金が開発した鋼材を用いて、その有効性を検証する研究も行われた。新日鉄住金では高度な材料設計技術を駆使して独自の材料を開発し、船舶の安全と海洋汚染防止に貢献している。



適用実績　原油タンカー船 TANGO ©日本郵船(株)

日本郵船(株)はすべての新造原油タンカーにNSGP®-1を採用し、2007年以降現在までに1万5,000トン以上、VLCC(Very Large Crude Oil Carrer)10隻分に相当する量を使用している。

原油タンカータンク底板の孔食防止



実船のタンク底面にNSGP®-1を適用し効果を実証、補修箇所ゼロを実現した。

省合金型二相ステンレス鋼 NSSC®2120

施工しやすく強度の高い省資源型の鉄

近年、世界的に二相ステンレス鋼のケミカルタンカーへの適用が進んでいる中、今まで国内では二相鋼ケミカルタンカーの建造実績はなかった。新日鉄住金ステンレス(株)の省合金型二相ステンレス鋼「NSSC®2120」(ASTM UNS S82122)は、レアメタルであるニッケルやモリブデンの添加量を削減した省資源性と価格安定性に優れ、海水などの塩化物に対する耐食性を維持しながら、溶接性を大幅改善するとともに、従来鋼に比べ約2倍の強度で軽量化設計を可能にした。今後、内航船以外にも大・中型ケミカルタンカーや大型石油タンカーの艤装品などへの適用が期待されている。

適用部位　カーゴタンク内部

適用実績　内航ケミカルタンカー ©佐々木造船(株)