

## LCA 的視点からみた鉄鋼製品の社会における 省エネルギー貢献に係る調査<sup>1</sup>

### 各論 4 . 船舶（高張力鋼板）

第二研究部 部長 小川 芳樹  
第二研究部環境グループ 主任研究員 太田 完治  
(現、三菱電機株式会社環境保護推進部推進グループ)

#### 4.1 船舶用厚板の使用動向

##### (1) 船舶における鋼材の使用動向

船舶における鋼材の使用動向を表 4.1 に示す。船舶・造船分野においては、1960 年代の高度成長に伴い、大量輸送および輸送コスト低減の必要性を背景に、船舶の大型化、高速化が求められてきた。

石油危機の影響を受けて 1970 年代後半から 1980 年代にかけての造船活動は、それ以前に比べると大幅に停滞したが、1980 年代末からアジアを中心とする経済成長と船舶の老齢化に伴って造船活動は再び拡大した。

この結果、1980 年代末から船舶における鋼材使用量は増加の一途をたどっている。鋼材使用量の中で 80%以上を船舶用厚板が占めている。従って、以下では船舶用厚板を分析対象として鉄鋼製品の高機能化がエネルギー消費に及ぼす影響を分析することとする。

---

<sup>1</sup> 本報告は平成 13 年度に社団法人 日本鉄鋼連盟より受託して実施した受託研究の一部である。この度、社団法人 日本鉄鋼連盟の許可を得て公表できることとなった。社団法人 日本鉄鋼連盟関係者のご理解・ご協力に謝意を表するものである。

表 4.1 船舶における鋼材使用量の推移

	普通鋼使用量 (100万 t)			特殊鋼使用量 (t)			高張力鋼 比率(+) (%)	
	合計	厚板	その他	合計	高抗張 力鋼(*)	低温用 鋼		その他
1971年	4.12	3.27	0.85					
1972年	4.54	3.81	0.73					
1973年	5.28	4.38	0.90					
1974年	6.15	5.40	0.75					
1975年	4.58	4.08	0.50					
1976年	3.41	2.91	0.50					
1977年	2.70	2.25	0.45					
1978年	1.65	1.37	0.28					
1979年	2.17	1.82	0.35					
1980年	2.84	2.39	0.45					
1981年	2.90	2.43	0.47					
1982年	2.14	1.79	0.35					
1983年	2.40	2.02	0.38					
1984年	2.67	2.25	0.42					
1985年	2.47	2.10	0.37					
1986年	1.53	1.30	0.23					
1987年	1.23	1.03	0.20					
1988年	1.31	1.11	0.20					
1989年	1.53	1.28	0.25	89,104	3,413	80,632	5,059	0.27
1990年	1.80	1.50	0.30	79,190	1,625	76,020	1,545	0.11
1991年	1.86	1.54	0.32	75,218	971	70,866	3,381	0.06
1992年	2.13	1.79	0.34	40,871	345	35,809	4,717	0.02
1993年	2.02	1.69	0.33	6,412	1,118	3,140	2,154	0.07
1994年	2.30	1.90	0.40	56,429	649	53,637	2,143	0.03
1995年	2.42	2.02	0.40	39,756	970	30,769	4,017	0.05
1996年	2.51	2.11	0.40	57,462	1,857	37,909	17,696	0.09
1997年	2.56	2.13	0.43	26,976	1,825	18,374	6,777	0.09
1998年	2.69	2.26	0.43	35,360	1,411	25,822	8,127	0.06
1999年	2.52	2.12	0.40	71,533	2,497	60,099	8,937	0.12
2000年	2.61	2.21	0.40	56,145	6,214	44,921	5,010	0.28
2001年	2.77	2.34	0.43	61,234	5,173	48,568	7,493	0.22

(注) \* : 高抗張力鋼とは、抗張力 590N/mm<sup>2</sup> (60kg/mm<sup>2</sup>)、降伏点 450N/mm<sup>2</sup> (46kg/mm<sup>2</sup>)以上の特殊鋼

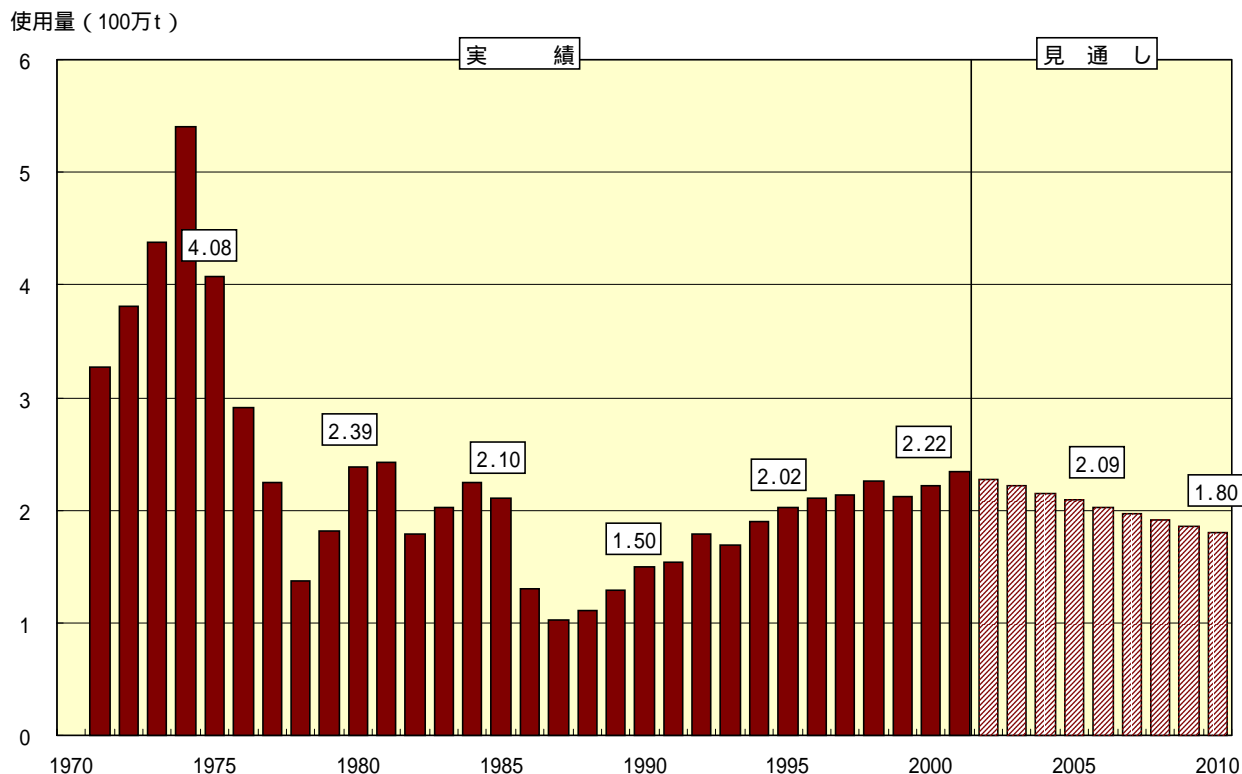
+ : 高抗張力鋼使用量 / (高抗張力鋼使用量 + 普通鋼厚板使用量)

(出所) (社)日本造船工業会資料

## (2) 船舶における厚板の使用動向と見通し

船舶における厚板の使用動向は、後述する建造船舶の竣工総トン数の変化(表 4.4 参照)に対応して変化している。船舶用の厚板の使用量に関する過去の変化と今後の見通しを図 4.1 に示す。今後の見通しは、後述するように、1970年代のリプレース需要などが一段落したとみられるので、2010年に造船業界が予想する竣工総トン数に向けて同じ減少率で穏やかな減少をたどると想定した。

図 4.1 船舶用の厚板使用量の変化と今後の見通し



(出所) 表 4.1 と同じ

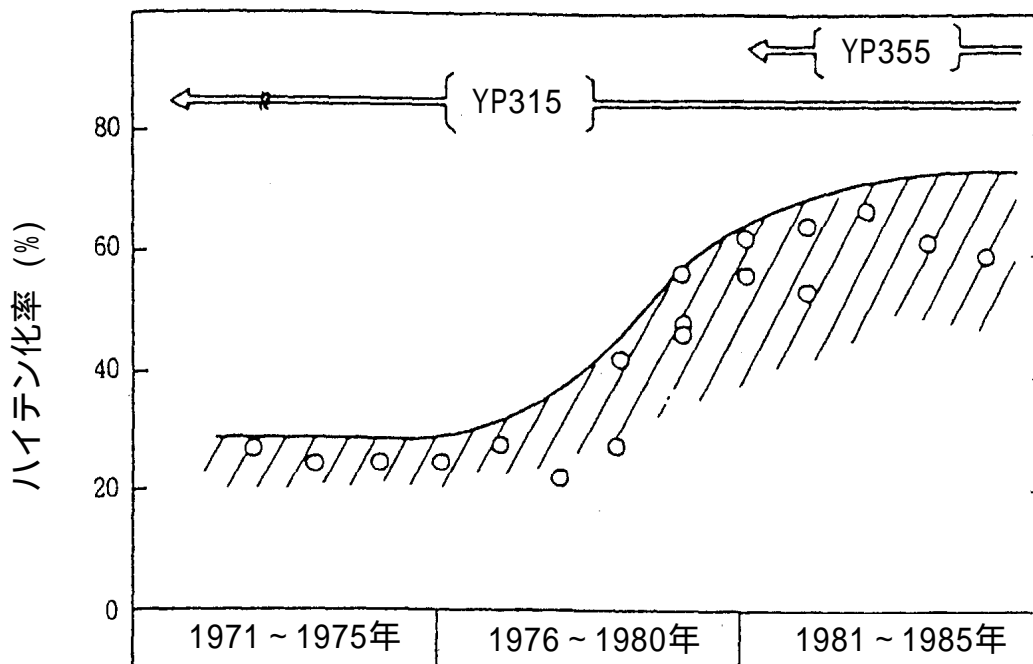
船舶における厚板使用量は、1990 年代に年率 4%の伸びを示したが、2000 年がリブレース需要等のピークとみられるので、2010 年まで年率 3%で減少し、1990 年代前半の使用量水準に達することが見込まれる。

### (3) 高張力鋼の使用比率の推移

(1)項で述べたように、船舶の大型化、高速化が経済の高度成長の中で求められ、これによって船体の構成部材の板厚が増すため、船体重量を低減しかつ溶接工数等を削減する必要性も出てきた。1962 年に 48,000DWT の鉸石運搬船で高張力鋼(ハイテン、HT)を初めて採用して以来、高張力鋼が主に上甲板および船底の船長方向の強度部材、高機能化材として用いられてきた。

1970 年代の石油危機を契機として、省エネルギーの視点から運航燃費の節減が最重要視され、推進効率の向上、船体抵抗の減少なども図られた。このために、さらなる船体の軽量化が求められ、現在では船側および船体内部の構造部材のほとんどに高張力鋼が用いられている。図 4.2 に船舶用厚板の高張力鋼化(ハイテン)比率の推移を示す。

図 4.2 船舶用厚板の高張力鋼化（ハイテン化）比率の推移



(出所) 日本鉄鋼協会資料

船舶用厚板には、降伏点が  $235 \text{ N/mm}^2$  の強度を持つ普通鋼と降伏点が  $315$  および  $355 \text{ N/mm}^2$  の強度を持つ高張力鋼（前者が YP315 あるいは HT32、後者が YP355 あるいは HT36）の 3 種類が一般的である。図 4.2 に示すように、YP315 は 1960 年代初めに実用化され、YP355 は 1980 年代初めに実用化されている。1990 年代初めには降伏点  $390 \text{ N/mm}^2$  級の強度を持つ高張力鋼（YP390 あるいは HT40）も実用化された。

1970 年代前半頃まではハイテン比率が 30% 以下と低かったが、TMCP (Thermo Mechanical Control Process: 熱加工制御) によって低炭素当量で低温靱性の高い高張力鋼が開発されたことで、1980 年代に入るとハイテン比率は急速に増加し、1985 年までに約 70% まで上昇した。

船体構造上で最も重要な強度は、船体を一本の梁とみなした場合の縦曲げモーメントに対する強度である。船舶の上甲板および船底外板に発生する船体曲げ応力に対応するには、普通鋼では板厚の増大、船体重量の増加を招き、経済性を損なうことになる。原油タンカーが巨大化し始めた 1962 年以降船体構造の軽量化を図るため、高張力鋼が使用されるようになった。1980 年に TMCP 技術が開発されて以降は、高張力鋼の使用比率が飛躍的に増大した（鉄鋼界、2001 年 10 月号、pp. 16-21）。

このような視点に立つと、高張力鋼を用いるニーズが特に大きい船舶は、原油タンカー、バルクキャリアー、コンテナ船など規模の大きい外航用船舶であるといえる。最近の報告によると、表 4.2 に示すように、高張力鋼の使用比率は原油タンカーで約 70~80%、バルクキャリアーで約 60~80%、コンテナ船で約 50% とみられる（鉄鋼界、2001 年 10 月号、pp. 16-21）。

表 4.2 高張力鋼（ハイテン）の使用比率

	船腹比率 (%)	鋼板使用 比率 (%)	その他 鋼材比率 (%)	高張力鋼 使用率 (%)	みなし平均 高張力鋼使 用率(%)	船腹比率* (造船工業会) (%)
原油タンカー	25	78.9	21.1	約 70～80	75	35
バルクキャリアー	27	82.7	17.3	約 60～80	70	40
コンテナ船	10	87.8	12.2	約 50	50	15
その他	38					10

(注) 造船工業会の船腹比率で原油タンカーにガス船、ケミカルタンカーを含める。バルクキャリアーに兼用船、貨物船を含める。その他船舶は小型船が中心である。

(出所) 真鍋英男「造船用鋼材の基礎知識」、鉄鋼界、2001年10月号、pp. 16-21

(社)日本造船工業会による船腹比率を用いてこの三者によるハイテン比率の加重平均を求めると70%となる。この結果から1985年ごろに70%に達したハイテン比率は現状でも大きく変化しておらず70%とみなすことができる。降伏応力を高めても溶接部の疲労強度の改善効果があまり期待できず、また長寿命化の観点や腐食予備厚の確保等の問題から高張力鋼の使用による船体の軽量化は限界に達していると考えられる。

また、原油タンカーでは、軽量化のためにYP315 (HT32) あるいはYP355 (HT36) クラスの高張力鋼を用いるのが一般的といわれる。YP390 (HT40) クラスの高張力鋼は大型コンテナ船の上甲板など高強度と軽量化が特に必要とされる用途に限定されている(鉄鋼界、2001年10月号、pp. 16-21)。

なお、(社)日本造船工業会の統計では、表4.1に示したように、YP315 (HT32) ~ YP355 (HT36) までの高張力鋼は普通鋼と同類で取り扱われており、微量できわめて限定された用途に用いられるYP450 (HT46) 以上の高抗張力鋼のみが特殊鋼として区分されている。

従って船舶用厚板に用いられるYP315とYP355の比率を正確に把握することはできない。そこで、1990年代以降を取り扱うこの分析では、YP315もYP355も10年以上前に実用化され、1985年までには広く普及したことを考慮して、50%の構成比をそれぞれが持つと設定した。

表4.3に示すように、内航船は2万トン未満が98%を占め、他方で外航船は逆に2万トン以上が98%を占める。高張力鋼が採用された上述の内容から判断すると、原油タンカー、バルクキャリアー、コンテナ船などトン数の大きい外航船で主に高張力鋼が使用されている。多様な種類の船があるので一概には断言できないようであるが、内航船は基本的には高張力鋼を使用していないとみなせる((社)日本造船工業会へのヒアリング)。

従って、日本国内の内航船に関しては高張力鋼を用いる高機能化はほとんど行われていないと判断し、日本で建造された外航船の国際輸送活動に伴うエネルギー消費を、高張力鋼による船舶用厚板の高機能化がもたらす影響の分析対象とした。

表 4.3 就航鋼船のトン数階層別総数および総トン数（2000年7月時点）

	内航 - 鋼船			外航 - 鋼船		
	隻数 (隻)	総トン数 (万総トン)	構成比 (%)	隻数 (隻)	総トン数 (万総トン)	構成比 (%)
20トン未満	623	1.0	0.3	0	0.0	0.0
20トン以上	783	5.3	1.3	0	0.0	0.0
100トン以上	2,866	92.3	22.9	5	0.2	0.0
500トン以上	612	45.0	11.2	10	0.8	0.1
1千トン以上	285	59.1	14.6	5	0.8	0.1
3千トン以上	241	126.6	31.4	10	6.1	0.7
1万トン以上	50	67.6	16.8	7	10.7	1.2
2万トン以上	3	6.4	1.6	42	149.8	17.6
5万トン以上	0	0.0	0.0	23	154.5	18.1
10万トン以上	0	0.0	0.0	42	529.8	62.1
10万トン以下	5,463	403.4	100.0	102	322.9	37.9

(出所) 国土交通省、「船舶調査(平成12年)」

#### (4) 高張力鋼の使用による建造船体重量の軽量化率

高張力鋼(ハイテン、HT)を使用することによる建造船体重量の軽量化が、エネルギー消費に及ぼす影響を分析することが、この報告の中心課題である。図 4.3 には、高張力鋼を使用した場合の普通鋼(MS)ベースに対する建造船体重量の軽量化率を示す。

普通鋼強度 MS と高張力鋼強度 HT の比は、

高張力鋼 YP315 (HT32) の場合:  $MS / HT = 0.78$

高張力鋼 YP355 (HT36) の場合:  $MS / HT = 0.72$

である(日本造船学会誌、第 652 号(昭和 58 年 10 月)、pp. 563-578)。

ハイテン化率 70%における船殻の普通鋼(MS)と高張力鋼(HT)の使用重量比は、図 4.3 に基づくと、

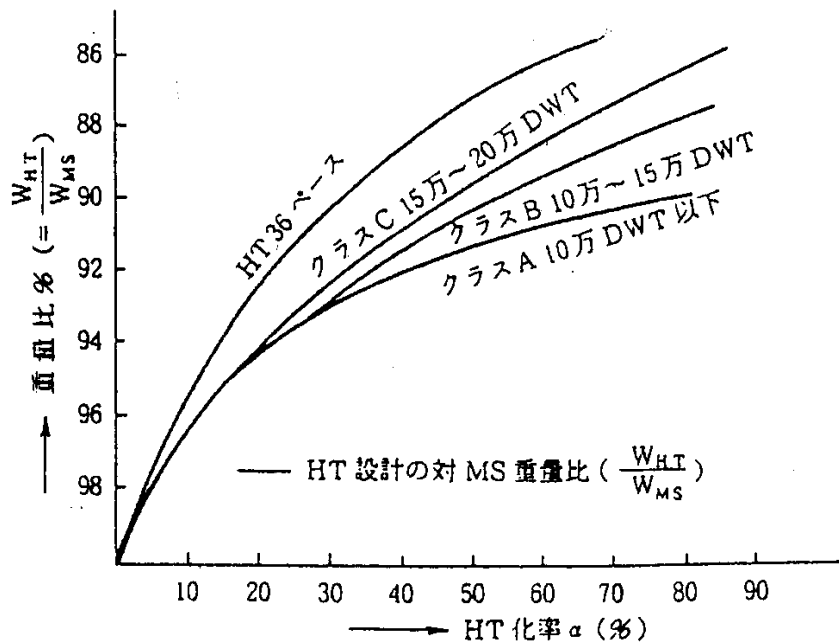
高張力鋼 YP315 (HT32) の場合:

10~15万 DWT クラスの場合:  $= W_{HT} / W_{MS} = 0.890$

高張力鋼 YP355 (HT36) の場合:  $= W_{HT} / W_{MS} = 0.855$

となる。ただし、高張力鋼が使用されている外航船の平均総トン数(表 4.3 参照)に基づいて、10~15万 DWT クラスの曲線から読み取った。

図 4.3 HT ベース設計船の MS ベースに対する重量比



(出所) 富吉剋之他「最近の船体用高張力鋼使用についての動向(その3)」、日本造船学会誌、第 652 号 (昭和 58 年 10 月) pp. 563-578

重量軽減率  $W/W_T^i$  は、後述の参考資料 1 に示す数式に基づくと、  
高張力鋼 YP315 (HT32) の場合：

10~15 万 DWT クラスの場合：

$$W/W_T^i = [(1/0.78) - 1] \cdot 0.890 / [1 + (1/0.78) \cdot 0.890] = 0.12$$

高張力鋼 YP355 (HT36) の場合：

$$W/W_T^i = [(1/0.72) - 1] \cdot 0.855 / [1 + (1/0.72) \cdot 0.855] = 0.15$$

となる。

すでに述べたように、原油タンカー、バルクキャリアー、コンテナ船などに使用される高張力鋼は YP315 (HT32) と YP355 (HT36) が一般的で、図 4.2 に示すように、YP355 (HT36) は 1980 年初め頃から市場に出ているので、1990 年以降を考えるこの分析では、YP315 (HT32) と YP355 (HT36) が 50% ずつの構成比を持つと考えた。YP390 (HT40) や YP450 (HT46) 以上の高張力鋼も多少は使用されているが、構成比が小さいので、YP315 (HT32) と YP355 (HT36) で代表させる。

従って、HT 化率 70% における最終的な重量軽減率は、高張力鋼 YP315 (HT32) と YP355 (HT36) の重量軽減率を加重平均して

$$W/W_T^i = (0.12 + 0.15) / 2 = 0.135$$

となる。

#### 4.2 省エネルギーの評価方法

##### (1) 省エネルギーをもたらす理由

船舶の構造用部材に用いられる厚板が、従来の普通鋼厚板から高張力鋼厚板に置き換わることにより、二つの面からの省エネルギーが可能である。一つは船体の軽量化による船舶の運航燃料の削減であり、もう一つは船体の軽量化に伴う鋼材使用量の減少による鋼材製造エネルギーの削減である。

運航燃料の削減効果は、軽量化された船舶が就航している期間にわたって省エネルギーをもたらすものであり、一方の鋼材削減効果は船舶建造時において省エネルギーに寄与したと考えるべき性格のものである。

##### (2) 軽量化による運航燃料の削減効果

軽量化による運航燃料の削減効果は、以下の方法によって試算した。

$$\begin{aligned} \text{運航燃料削減量} &= \text{船舶燃料使用量} / (1 - \text{就航船舶軽量化率} \times \text{燃料低減寄与率}) \\ &\times (\text{就航船舶軽量化率} \times \text{燃料低減寄与率}) \\ &\times \text{燃料発熱量} \end{aligned}$$

船舶燃料使用量：	xxxx年の燃料使用量(kl/年)
就航船舶軽量化率：	普通鋼使用ベースに対するxxxx年の就航船舶の軽量化率(%)
燃料低減寄与率：	上記の軽量化率による燃料低減寄与率(%)
燃料発熱量：	船舶燃料の低位発熱量(MJ/kl)
	原油 36,795 MJ/kl (8,790 Mcal/kl)
	軽油 36,586 MJ/kl (8,740 Mcal/kl)
	重油 38,972 MJ/kl (9,310 Mcal/kl)

軽量化された船体重量の減少分の約1/12が船舶の排水量の減少となり、参考資料2に示すように、排水量の減少の約2/3に相当する割合で燃料の節約ができる。従って上記の燃料低減寄与率は約5.6%(=1/12×2/3)となる。このことは船体重量の10%の軽量化によって0.56%の燃料の削減ができることを意味する。

##### (3) 鋼材削減による製造エネルギーの削減効果

鋼材削減による製造エネルギーの削減効果は、以下の方法によって試算した。

$$\begin{aligned} \text{製造エネルギー削減量} &= \text{船舶厚板生産量} / (1 - \text{建造船舶軽量化率}) \\ &\times \text{建造船舶軽量化率} \\ &\times \text{厚板製造エネルギー原単位(普通鋼)} \end{aligned}$$

船舶用厚板生産量：	xxxx年の船舶用厚板生産量(t/年)
建造船舶軽量化率：	普通鋼使用ベースに対するxxxx年の建造船舶の軽量化率(%)
厚板製造エネルギー原単位：	普通鋼による船舶用厚板の製造エネルギー原単位(MJ/kg)



## 4.3 船舶への高張力鋼適用による省エネルギー量

## (1) 船舶の竣工量の推移

世界と日本の船舶竣工量の推移を表 4.4 に示す。石油危機の勃発に伴う石油需要の低迷などで世界の船舶竣工量は 1975 年の 3,420 万総トンから 1980 年の 1,310 万総トンへ減少し、1980 年代は 1,100 万総トンから 1,900 万総トンの間を上下した。その後アジアを中心とする経済高成長が続く中で、世界の船舶竣工量は増加傾向を取り戻して 2000 年には 3,140 万総トンとほぼ 1975 年の水準へ復帰した。

日本の船舶竣工量も、1975 年の 1,700 万総トンから 1979 年の 480 万総トンへ急減した後、1980 年代は 400～1,000 万総トンで上下し、その後は増加傾向に転じて 2000 年で 1,200 万総トンとなった。世界に占める日本の重みは、過去には 50%を超える時期もあったが、1990 年代は 40%前後で推移している。

表 4.4 世界における船舶の竣工量の推移

年	世界 (百万総トン)	日本 (百万総トン)	その他 (百万総トン)	日本比率 (%)
1975年	34.2	17.0	17.2	49.7
1976年	33.9	16.0	17.9	47.2
1977年	27.5	11.9	15.6	43.3
1978年	18.2	6.5	11.7	35.7
1979年	14.3	4.8	9.5	33.6
1980年	13.1	6.3	6.8	48.1
1981年	16.9	8.5	8.4	50.3
1982年	16.8	8.3	8.5	49.4
1983年	15.9	6.8	9.1	42.8
1984年	18.3	9.8	8.5	53.6
1985年	18.2	9.5	8.7	52.2
1986年	16.8	8.3	8.5	49.4
1987年	13.1	5.9	7.2	45.0
1988年	11.3	4.0	7.3	35.4
1989年	14.5	5.6	8.9	38.6
1990年	16.1	6.8	9.3	42.2
1991年	16.8	7.5	9.3	44.6
1992年	18.9	8.0	10.9	42.3
1993年	20.5	9.0	11.5	43.9
1994年	19.7	8.8	10.9	44.7
1995年	22.7	9.4	13.3	41.4
1996年	25.8	10.3	15.5	39.9
1997年	25.5	10.0	15.5	39.2
1998年	25.4	10.4	15.0	40.9
1999年	27.8	11.3	16.5	40.6
2000年	31.4	12.0	19.4	38.2
2001年	28.5	11.7	16.8	41.0

(注) 計数対象は 100 総トン以上の船舶  
(出所)(社)日本造船工業会、「造船関係資料(2001年)」

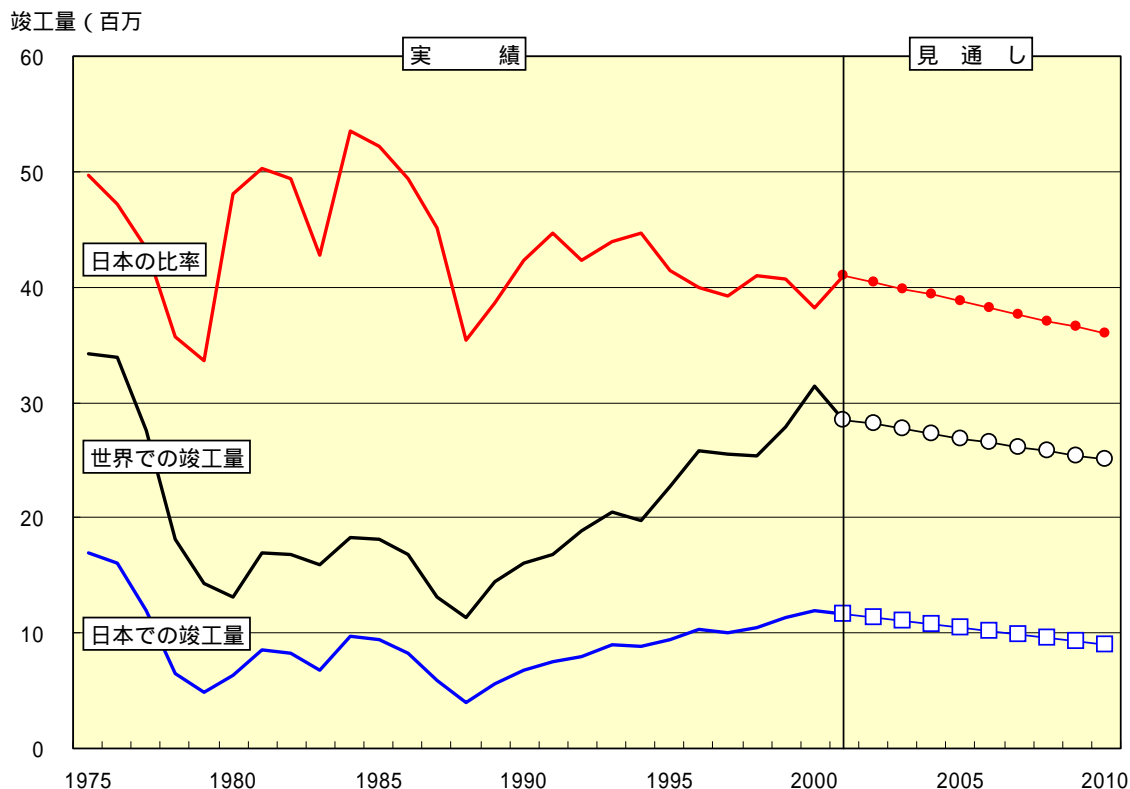
2000年7月時点の内航船の船腹量は403.4万総トンであるので、これを船舶の耐用年数25年間で割ると、内航船の竣工量は平均的に16万総トン前後のオーダーと推計できる。これは2000年の日本の竣工量1,200万総トンに対して1.3%とわずかな割合を占めるに過ぎないことを意味する。内航船の竣工量の推移を統計で把握することはできないので、この分析では日本の船舶竣工量や船舶用の厚板使用量の98.7%が外航船用であると想定した。

今後の船舶竣工量の推計を図4.4にまとめる。1980年代末から世界も日本も船舶竣工量が増加傾向で推移してきたが、1970年代のリプレース需要やダブルハル化による需要は2000年でピークを迎えたとみられる。一般に船舶の建造は、リプレース需要が9割で、新規需要が1割といわれているので、2010年に向けて世界の船舶竣工量は2,500万総トンへ、日本の船舶竣工量は800~1,000万総トンへ穏やかに減少すると見込まれる（(社)日本造船工業会へのヒアリング）。

そこで、今回の分析では2010年に世界と日本の船舶竣工量がそれぞれ2,500万総トンおよび900万総トンになるとして、2001年実績との間を一定の減少率で結んだ。なお、日本の船舶竣工量の減少率を用いて4.1節の(2)項で説明した船舶用厚板の将来推計を行った。

今後もアジアを中心とする経済発展が中長期的に見込まれるが、1970年代前半の老齢船のリプレースが峠を越えること、環境・安全の視点に立つ原油タンカーのダブルハル化も一段落することなどを考慮すると、このような想定は妥当であると考えられる。

図4.4 世界における船舶の竣工量の推移と今後の見通し



(出所) 実績は表4.4に同じ、見通しは実績の1990年代の伸び率から推計

さて、次に次項で説明する外航船のバンカー燃料の消費量と竣工量を関係づける必要がある。このために、表4.5に示す分析対象年次までの過去25年間（船舶の耐用年数を25年と想定）に及ぶ累積竣工量を求めた。世界の累積竣工量は、世界の船腹量と概ね一致する。

表4.5 世界における船舶の累積竣工量に占める日本の重み

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
累積量(百万総トン)					
世界計	447	492	557	558	610
日本	243	254	250	237	250
その他	204	248	307	331	360
日本の比率(%)	54.3	51.5	44.8	42.4	40.9

(注) 2000年までの世界の累積竣工量は世界の船腹量とほぼ一致する。

(出所) 表4.4および図4.4のデータから作成

表4.6 世界における外航船舶用バンカー燃料の消費量の推移

	軽油 (百万t)	重油 (百万t)	合計 (百万t)	軽油 (1000TJ)	重油 (1000TJ)	合計 (1000TJ)	重油比率 (%)
1971年	13.2	101.9	115.1	574	4,273	4,846	88.2
1972年	14.0	105.9	119.9	611	4,436	5,047	87.9
1973年	14.6	111.4	126.0	637	4,668	5,305	88.0
1974年	12.8	104.3	117.1	557	4,372	4,928	88.7
1975年	13.0	95.5	108.5	567	4,003	4,570	87.6
1976年	14.2	97.1	111.4	620	4,071	4,691	86.8
1977年	15.0	95.3	110.3	653	3,995	4,648	85.9
1978年	16.8	94.6	111.4	732	3,967	4,698	84.4
1979年	15.8	98.9	114.7	689	4,145	4,834	85.8
1980年	14.5	95.6	110.1	633	4,005	4,638	86.3
1981年	14.9	87.1	102.0	651	3,650	4,300	84.9
1982年	14.3	76.7	91.0	623	3,213	3,836	83.8
1983年	13.4	71.2	84.7	585	2,985	3,571	83.6
1984年	13.5	72.5	86.0	587	3,039	3,626	83.8
1985年	13.8	77.6	91.4	600	3,252	3,852	84.4
1986年	15.2	81.2	96.5	663	3,405	4,068	83.7
1987年	15.4	79.4	94.8	669	3,329	3,998	83.3
1988年	15.3	83.1	98.4	667	3,484	4,151	83.9
1989年	15.2	83.0	98.2	662	3,478	4,140	84.0
1990年	20.7	91.3	112.0	903	3,825	4,728	80.9
1991年	20.9	94.4	115.2	909	3,956	4,864	81.3
1992年	22.3	97.4	119.7	970	4,082	5,053	80.8
1993年	21.1	94.7	115.8	917	3,971	4,888	81.2
1994年	22.3	94.1	116.4	972	3,942	4,914	80.2
1995年	23.6	96.7	120.3	1,027	4,053	5,080	79.8
1996年	25.1	98.2	123.3	1,092	4,117	5,209	79.0
1997年	26.2	101.2	127.4	1,143	4,241	5,384	78.8
1998年	27.1	101.7	128.7	1,179	4,260	5,439	78.3
1999年	27.0	109.0	136.0	1,175	4,568	5,743	79.5
2000年推定	27.8	111.2	138.9	1,210	4,659	5,869	79.4

(出所) 国際エネルギー機関(IEA)「Energy Statistics of Non-OECD Countries (2001 Edition)」

世界の船舶の累積竣工量に占める日本の累積竣工量の重みは、1990年の54.3%から徐々に低下して、2000年は44.8%に達し、2010年は40.9%になると見込まれる。世界全体のバンカー燃料消費量にこの重みをもちることによって、日本で竣工した船舶によるバンカー燃料の消費量を求める。

## (2) 世界の船舶のバンカー燃料消費量

多様な船舶があるので一概には言えないが、内航船における高張力鋼の使用はほとんどないと考えられるので、この分析では船舶用厚板の高張力鋼使用は外航船であると想定する。従って、高張力鋼厚板の使用が燃料消費に及ぼす影響を分析するためには、外航船舶用によるバンカー燃料の消費量を把握する必要がある。世界全体のバンカー燃料の消費量は、国際エネルギー機関の統計から表4.6に示すように整理できる。

世界全体のバンカー燃料消費量は1973年に1億2,600万トンもあったが、2回の石油危機勃発による影響などの要因で1983年の8,500万トンまで減少した。しかし、その後は増加傾向に転じ、1990年代後半に1973年の水準を超え、2000年には1億4,000万トン前後に達したと推計される。船舶のバンカー燃料には、軽油と重油の消費があるが、1970年代初めに90%近かった重油比率は、徐々に低下して現状は80%前後の値となっている。

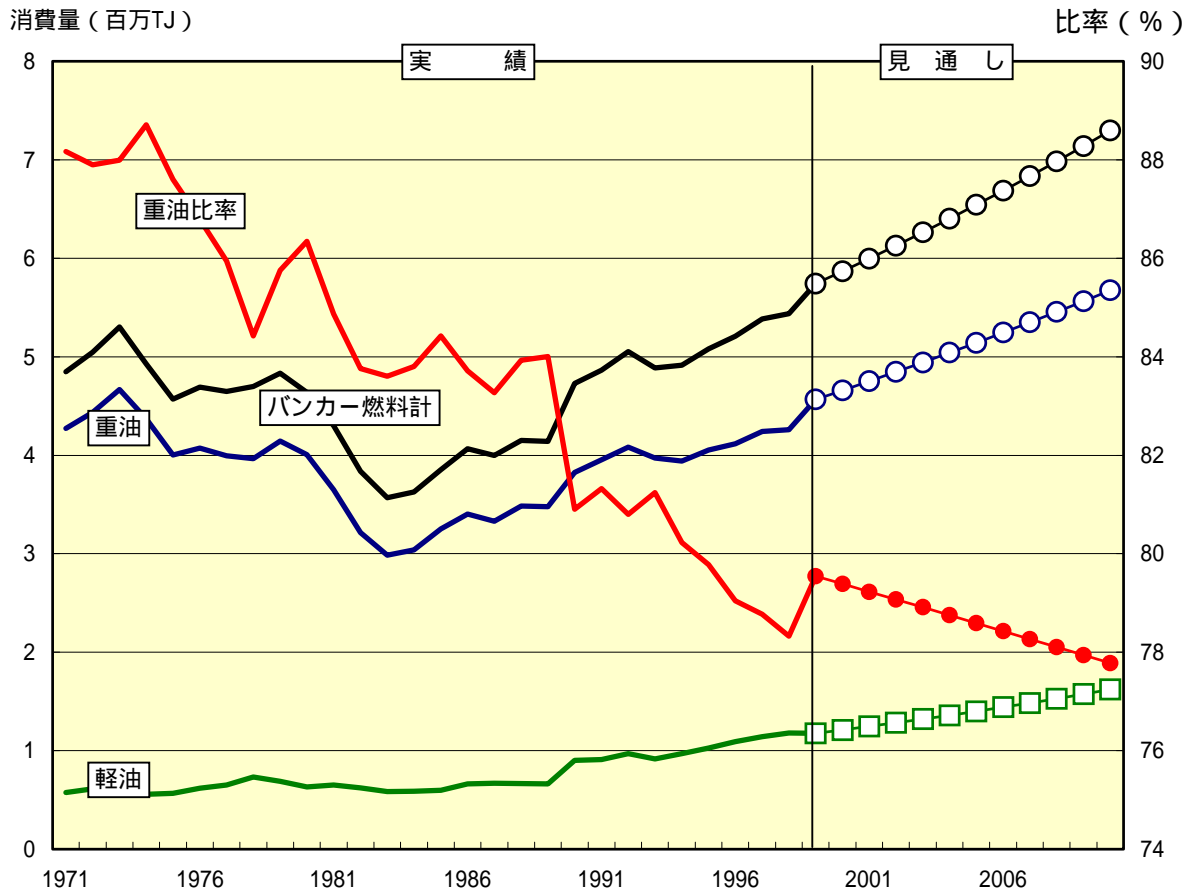
1983年以降のバンカー燃料使用量は、長期トレンドで見ると継続的な増加傾向をもって推移しているため、軽油と重油に関して1990年代の10年間の平均増加率をそれぞれ算出し、その平均的な伸びで軽油、重油いずれも増加すると想定して2010年までのバンカー燃料消費量の将来推計を行った。その結果を図4.5にまとめる。

これらのバンカー燃料消費量の実績と将来推計から、表4.7に示すように、日本の新規竣工船によるバンカー燃料消費量の推計を行った。

推計の考え方は、第1に、分析対象年次までの25年間（耐用年数）における世界と日本の竣工船の累積総トン数を求め、日本とその他地域の就航船舶が同様の活動の仕方をするとして、累積総トン数の比率から分析対象年次の日本の就航船舶によるバンカー燃料の消費量を求めた。

第2に、日本における分析対象年次の新規竣工船の総トン数と分析対象年次まで25年間における竣工船の累積総トン数との比率から分析対象年次の日本の新規就航船舶によるバンカー燃料の消費量を求めた。

図 4.5 外航船舶用バンカー燃料の消費量と今後の見通し



(出所) 実績は表 4.5 に同じ。見通しは 1990 年代の伸び率に基づいて推計。

表 4.7 日本の新規竣工船による燃料消費量の推計

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
燃料消費量 (万 TJ)					
世界計	473	508	587	654	730
日本累積竣工船	253	258	260	274	295
日本新規竣工船	7.19	9.70	12.64	12.20	10.77
竣工船総トン (百万総トン)					
世界累積竣工船	447	492	557	558	610
世界累積竣工船	243	254	250	237	250
日本累積竣工船	6.8	9.4	12.0	10.4	9.0
日本新規竣工船					
竣工船の構成比 (%)					
日本累積 / 世界累積	54.3	51.5	44.8	42.2	40.9
日本新規 / 日本累積	2.8	3.8	4.9	4.5	3.7

(注) 日本の累積竣工船による燃料消費量は、世界計の燃料消費量に日本累積 / 世界累積の構成比を乗じて求めた。日本の新規竣工船による燃料消費量は、それに日本新規 / 日本累積の構成比を乗じてもとめた。

## (4) 船体の軽量化による運航燃料の削減効果

4.2節の(2)項で示した評価方法と前項で求めたバンカー燃料の消費量に基づいて、表4.8に示す船体の軽量化による運航燃料の削減効果を求めた。4.1節の(3)～(4)項でみたように、現状の船舶用厚板における高張力鋼の使用比率は70%で、YP315 (HT32)とYP355 (HT36)が半々で使用されていると想定すると、船舶の軽量化率は13.5%となる。この値と4.2節の(2)項で示した船舶の軽量化率10%で燃料削減率は0.56%を用いると、表4.8に示すように、消費燃料の削減率は0.75%となる。船舶の耐用年数は25年と設定した。

4.1節の(3)項で述べたように、高張力鋼の使用比率は現状の70%で上限に達しているとみられる。長寿命化や腐食性の視点からより高品質の高張力鋼へ切り替えるインセンティブも低いことから、2010年までの将来推計においては現状の高張力鋼の条件が維持されると想定した。

ただし、ポテンシャルの推計では、高張力鋼の使用比率に関しては70%と同じ値を使用した。高張力鋼の構成に関しては現状で多用されているYP315 (HT32)からより高強度のYP355 (HT36)へすべてシフトし、軽量化がさらに進むと想定した。YP355 (HT36)の高張力鋼を70%とすると、4.1節の(4)項で示したように、船舶の軽量化率は15%となり、軽量化に伴う消費燃料の削減率は0.83%となる。

これらの結果、船体の軽量化による耐用期間(25年)中の運航燃料の削減効果は、普通鋼100%ベースで想定されるものに対して、1990年で13.37千TJ (原油換算36.35万kl)、2000年で23.52千TJ (同63.95万kl)、2010年で20.03千TJ (同54.46万kl)となる。また、ポテンシャル・ケースにおける燃料削減による効果は、22.22千TJ (同60.41万kl)となる。

表4.8 船体の軽量化による運航燃料の削減効果

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	ポテンシャル
燃料消費量(千TJ)	71.86	96.99	126.42	122.04	107.68	107.58
YP355(HT36)比率(%)	50	50	50	50	50	100
消費燃料削減率(%)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.83
耐用年数(年)	25	25	25	25	25	25
燃料CO <sub>2</sub> 係数(t-CO <sub>2</sub> /TJ)	75.23	75.18	75.17	75.14	75.11	75.11
燃料削減量(千TJ)						
単年	0.53	0.72	0.94	0.91	0.80	0.89
耐用期間	13.37	18.05	23.52	22.71	20.03	22.22
燃料削減量(原油換算万kl)						
耐用期間	36.35	49.06	63.95	61.73	54.46	60.41
CO <sub>2</sub> 削減量(万t-CO <sub>2</sub> )						
耐用期間	100.58	135.68	176.83	170.63	150.47	166.92

上述の運航燃料の削減効果に伴うCO<sub>2</sub>の削減量は、1990年で100.58万t-CO<sub>2</sub>、2000年で176.83万t-CO<sub>2</sub>、2010年で150.47万t-CO<sub>2</sub>となる。また、ポテンシャル・ケースにおける燃料削減による効果は、166.92万t-CO<sub>2</sub>である。燃料の平均CO<sub>2</sub>排出係数は、軽油と重油のCO<sub>2</sub>排出係数から図4.5に示した重油比率を用いて計算した。

高張力鋼厚板の使用による船舶の軽量化がもたらす燃料削減効果が、2000年まで外航船舶の建造拡大に伴って増加してきたが、今後は船舶の建造需要が一段落するので、新規竣工船による効果は2000年に比べて減少する。ポテンシャル・ケースでYP315(HT32)とYP355(HT36)の構成比が半々からYP355(HT36)が100%に変化すると、燃料の削減効果が10%前後大きくなり、2000年の燃料削減効果に近い大きさとなる。

#### (5) 鋼材削減による製造エネルギーの削減効果

4.1節の(2)項で求めた船舶用の厚板使用量と4.2節の(3)で示した評価方法に基づいて、表4.9に示すように、鋼材削減による製造エネルギーの削減効果を求めた。YP315(HT32)とYP355(HT36)が半々で高張力鋼の使用比率が70%とすると、建造船体の軽量化率は13.5%となる。ポテンシャル・ケースはYP355(HT36)が100%と想定したので軽量化率は15.0%となる。

この建造船体の軽量化率から、表4.9に示すように、普通鋼100%ベースで想定される船舶の厚板使用量に対する削減量を求めることができる。普通鋼による船舶用厚板の製造エネルギー原単位は25.64MJ/kgであるので、削減量にこの原単位を乗じて製造エネルギーの削減効果を求めた。この効果は船舶が建造される単年の効果となる。

表4.9 鋼材削減による製造エネルギーの削減効果

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	ポテンシャル
厚板使用量(千トン)	1,482	1,995	2,187	2,060	1,781	1,750
厚板削減量(千トン)	231	311	341	321	278	309
建造船体軽量化率(%)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	15.0
製造エネ原単位(MJ/kg)	25.64	25.64	25.64	25.64	25.64	25.64
製造CO <sub>2</sub> 係数(t-CO <sub>2</sub> /TJ)	82.76	81.99	81.84	82.73	83.66	83.66
エネ削減量(千TJ) 製造単年	5.93	7.98	8.75	8.24	7.12	7.92
エネ削減量(原油換算万kl) 製造単年	16.12	21.70	23.80	22.41	19.37	21.52
CO <sub>2</sub> 削減量(万t-CO <sub>2</sub> ) 製造単年	49.08	65.44	71.63	68.19	59.61	66.23

(注) 図4.1に示した船舶用厚板使用量の98.7%を外航船向けであると想定した。

これらの結果、船体の軽量化に伴う鋼材削減による製造エネルギーの削減効果は、普通鋼 100%ベースで想定されるものに対して、1990年 5.93 千 TJ (原油換算 16.12 万 kl)、2000年 8.75 千 TJ (同 23.80 万 kl)、2010年 7.12 千 TJ (同 19.37 万 kl)となる。また、ポテンシャル・ケースにおける製造エネルギーの削減効果は、7.92 千 TJ (同 21.52 万 kl)となる。鋼材削減による製造エネルギーの削減効果は、軽量化による運航燃料の削減効果に対して 4 割程度の大きさとなっている。

鋼材削減による製造エネルギーの削減効果に伴う CO<sub>2</sub> の削減量は、1990年 で 49.08 万 t - CO<sub>2</sub>、2000年 で 71.63 万 t - CO<sub>2</sub>、2010年 で 59.61 万 t - CO<sub>2</sub> となる。また、ポテンシャル・ケースにおける燃料削減による効果は、66.23 万 t - CO<sub>2</sub> である。製造エネルギーの CO<sub>2</sub> 排出係数は、鉄鋼製造全体の平均 CO<sub>2</sub> 排出係数に関する各年の実績値および自主行動計画における目標値をそのまま用いた。

1990年代は特に老朽船のリプレースなどに伴って、建造船舶の竣工量が増加してきたが、今後この傾向は 2010年 に向けて一段落するとみられる。建造船舶の竣工量が減少する見込みであるので、鋼材削減による製造エネルギーの削減効果も 2000年 に比べれば減少する。ポテンシャル・ケース YP315 (HT32) と YP355 (HT36) の構成比が半々から YP355 (HT36) が 100% に変化すると、製造エネルギーの削減効果は 10% 前後大きくなり、2000年 の大きさに近づくことになる。

#### 4.4 船舶厚板の製造工程における高機能化エネルギー

##### (1) 普通鋼厚板と高張力鋼厚板の製造プロセスの相違

普通鋼厚板と高張力鋼厚板の製造プロセスの違いを図 4.6 に示す。船舶用に用いられる厚板材のうち普通鋼厚板は、転炉で精錬し連続鋳造で厚板用素材(スラブ)に鋳造される。その後、厚板工場に送られて加熱炉で所定の温度に再加熱され、圧延、冷却の過程を経て製造される。

これに対して、高張力鋼厚板を製造する場合には、この基本プロセスに加えて、製品の引張強さ、靱性、溶接性等の諸特性を向上させるため、いくつかの処理プロセスが追加される。具体的には、製鋼段階で鋼の清浄性を上げるため、連続鋳造する前に RH と呼ばれる脱ガス工程が追加される。

また、厚板工場の圧延工程においては、鋼板の結晶組織の微細化を図り機械的性質を向上させるため、スラブの加熱温度、圧延温度および圧下量を適正に制御する制御圧延法により圧延される。さらに、圧延完了直後の鋼板を適正な冷却速度で加速冷却して微細なパーライトやベーナイトで強化するため、仕上げ圧延機後面のラインに水冷タイプの冷却設備を設置して制御冷却を行う。

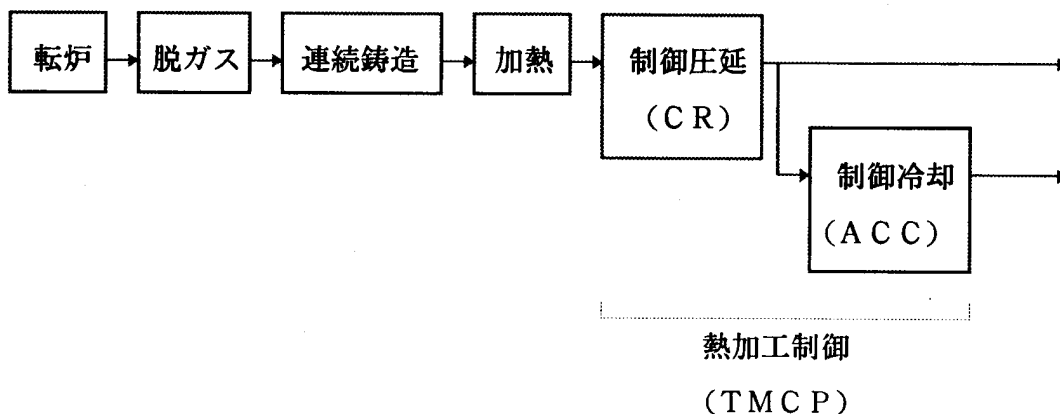


図 4.6 普通鋼厚板と高張力鋼厚板の製造プロセスの違い

[普通鋼厚板の製造プロセス]



[高張力鋼厚板の製造プロセス]



(出所) (社)日本鉄鋼連盟、「LCA 的視点からみた鉄鋼製品利用のエネルギー評価調査」

(2) エネルギー増加となる要因

高張力鋼厚板は、普通鋼厚板に比べると、上述のようなプロセスが追加的に付加されるため、追加プロセスで使用されるエネルギーが、高張力鋼厚板を製造する場合の増エネルギーとなる。

(社)日本鉄鋼連盟が1995年の実績をベースに推計した製造エネルギーの原単位は、普通鋼(235 N/mm<sup>2</sup>)厚板が25.64 MJ/kg (6,127 Mcal/t)、高張力鋼厚板が26.36 MJ/kg (6,297 Mcal/t)で0.71 MJ/kg (170 Mcal/t)の増加となる。この原単位の増加は、表4.10に示すような厚板製造プロセスの製造エネルギー原単位の増加によるものである。

表 4.10 高張力鋼厚板に関する製造エネルギー原単位の増加

(単位: Mcal/t (MJ/kg))

	普通鋼厚板	高張力鋼厚板	原単位差	増加率 (%)
製鋼工程	201 (0.84)	257 (1.08)	+56 (+0.23)	+27.9
厚板工程	639 (2.67)	753 (3.15)	+114 (+0.48)	+17.8
合計	840 (3.52)	1,010 (4.23)	+170 (+0.71)	+20.2

(出所)(社)日本鉄鋼連盟、「LCA 的視点からみた鉄鋼製品利用のエネルギー評価調査」

製造エネルギー原単位は、製鋼工程で0.23 MJ/kg (56 Mcal/t)、厚板工程で0.48 MJ/kg (114 Mcal/t)、合計で0.71 MJ/kg (170 Mcal/t)、約20%の増加となる。高炉による製鉄工程なども加えた全体的な製造エネルギーの原単位に対しては、上述の値に示されるように、約3%の増加となる。

### (3) 高機能化による製造工程のエネルギー増加の評価方法

高機能化による製造エネルギーの増加効果は、以下の方法によって試算した。

$$\begin{aligned} \text{製造エネルギー削減量} &= \text{船舶厚板生産量} \times \text{高張力鋼厚板使用比率} \\ &\times [\text{厚板製造エネルギー原単位 (高張力鋼)} \\ &- \text{厚板製造エネルギー原単位 (普通鋼)}] \end{aligned}$$

船舶用厚板生産量： xxxx年の船舶用厚板生産量 (t/年)

高張力鋼厚板使用比率： xxxx年の建造船舶における高張力鋼厚板の使用比率 (%)

厚板製造エネルギー原単位： 高張力鋼および普通鋼による船舶用厚板の製造エネルギー原単位 (MJ/kg)

### (4) 高機能化による製造工程の増エネルギー量

4.1節の(2)項で求めた船舶用の厚板使用量と前項で示した評価方法に基づいて、高張力鋼厚板の使用という高機能化による製造工程の増エネルギー量を算出した結果を表4.11に示す。

厚板使用量に高張力鋼厚板の使用比70%を乗じて高張力鋼厚板の使用量を求め、これに製造エネルギー原単位の増分を乗じることによって、高張力鋼厚板の使用という高機能化による製造エネルギーの増加効果を算出した。

これらの結果、高機能化による製造エネルギーの増加効果は、普通鋼100%ベースで想定されるものに対して、1990年1.07千TJ (原油換算2.90万kl)、2000年1.57万TJ (同4.28万kl)、2010年1.28千TJ (同3.49万kl)となる。また、ポテンシャル・ケースにおける製造エネルギーの増加効果は、1.26千TJ (同3.42万kl)となる。

高機能化による製造エネルギーの増加効果に伴うCO<sub>2</sub>の削減量は、1990年で8.83万t-CO<sub>2</sub>、2000年で12.89万t-CO<sub>2</sub>、2010年で10.73万t-CO<sub>2</sub>となる。また、ポテンシャル・ケースにおける燃料削減による効果は、10.54万t-CO<sub>2</sub>である。製造エネルギーのCO<sub>2</sub>排出係数は、鉄鋼製造全体の平均CO<sub>2</sub>排出係数に関する各年の実績値および自主行動計画における目標から求まる値をそのまま用いた。

高張力鋼厚板の使用という高機能化による製造エネルギーの増加効果も、外航船舶による輸送活動の拡大に伴って増加していることが分かるが、鋼材削減による製造エネルギーの削減効果に比べると、5分の1程度の大きさである。

表 4.11 高機能化による製造エネルギーの増加効果

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	ポテンシャル
厚板使用量(千トン)	1,482	1,995	2,187	2,060	1,781	1,750
高張力鋼量(千トン)	1,037	1,396	1,531	1,442	1,246	1,225
高張力鋼(HT)比率(%)	70	70	70	70	70	70
YP355(HT36)比率(%)	50	50	50	50	50	100
製造エネ原単位(MJ/kg)						
高張力鋼	26.36	26.36	26.36	26.36	26.36	26.46
普通鋼	25.64	25.64	25.64	25.64	25.64	25.64
高機能化増分	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82
製造CO <sub>2</sub> 係数 (t-CO <sub>2</sub> /TJ)	82.76	81.99	81.84	82.73	83.66	83.66
エネ増加量(千TJ)						
製造単年	1.07	1.44	1.57	1.48	1.28	1.26
エネ増加量(原油換算万kl)						
製造単年	2.90	3.90	4.28	4.03	3.49	3.42
CO <sub>2</sub> 削減量(万t-CO <sub>2</sub> )						
製造単年	8.83	11.78	12.89	12.27	10.73	10.54

(注) 図 4.1 に示した船舶用厚板使用量の 98.7% を外航船向けであると想定した。

#### 4.5 まとめ

##### (1) 高張力鋼(ハイテン)の適用によるエネルギー消費増減の総括

船舶用厚板への高張力鋼の適用によるエネルギー消費の増減を表 4.12 に総括する。軽量化による耐用期間 25 年の燃料削減効果、鋼材削減による建造年の製造エネルギー削減効果、高機能化による建造年の製造エネルギー増加効果を合計すると、全体的な省エネルギー効果を求めることができる。

全体的な省エネルギー効果の値は、普通鋼 100% ベースで想定されるものに対して、1990 年 18.23 千 TJ (原油換算 49.57 万 kl)、2000 年 30.70 千 TJ (同 83.47 万 kl)、2010 年 25.87 千 TJ (同 70.34 万 kl) となる。また、ポテンシャル・ケースにおける全体的な省エネルギー効果は、28.88 千 TJ (同 78.51 万 kl) となる。

全体的な省エネルギー効果に伴う CO<sub>2</sub> の削減量は、1990 年で 140.83 万 t - CO<sub>2</sub>、2000 年で 235.57 万 t - CO<sub>2</sub>、2010 年で 199.35 万 t - CO<sub>2</sub> となる。また、ポテンシャル・ケースにおける燃料削減による効果は、222.61 万 t - CO<sub>2</sub> である。

この省エネルギー効果は、鉄鋼製造全体のエネルギー消費に対して 1990 年で 0.73%、2000 年で 1.32%、2010 年で 1.16%、ポテンシャル・ケースで 1.30% の重みを持つ値となっている。日本のエネルギー総供給に対しては、1990 年で 0.094%、2000 年で 0.138%、2010 年で 0.117%、ポテンシャル・ケースで 0.130% の重みを持つ値となっている。

この省エネルギー効果に伴うCO<sub>2</sub>削減効果は、鉄鋼製造全体のCO<sub>2</sub>排出量に対して1990年で0.72%、2000年で1.30%、2010年で1.13%、ポテンシャル・ケースで1.26%の重みを持つ値となっている。日本のCO<sub>2</sub>排出量に対しては、1990年で0.134%、2000年で0.203%、2010年で0.189%、ポテンシャル・ケースで0.212%の重みを持つ値となっている。

表 4.12 船舶用厚板への高張力鋼適用によるエネルギー消費増減のまとめ

	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	ポテンシャル
厚板使用量(千トン)	1,482	1,995	2,187	2,060	1,781	1,750
高張力鋼量(千トン)	1,037	1,396	1,531	1,442	1,246	1,225
建造船体軽量化率(%)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	15.0
耐用年数	25	25	25	25	25	25
燃料消費量(千TJ/年)	71.86	96.99	126.42	122.04	107.68	107.58
消費燃料削減率(%)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.83
省エネ量(千TJ)						
燃料削減効果(耐用年)	13.37	18.05	23.52	22.71	20.03	22.22
鋼材削減効果(製造年)	5.93	7.98	8.75	8.24	7.12	7.92
エネ増加量(千TJ)						
高機能化効果(製造年)	1.07	1.44	1.57	1.48	1.28	1.26
エネ増減量(千TJ)						
総計	18.23	24.59	30.70	29.47	25.87	28.88
省エネ量(原油換算万kl)						
燃料削減効果(耐用年)	36.35	49.06	63.95	61.73	54.46	60.41
鋼材削減効果(製造年)	16.12	21.70	23.80	22.41	19.37	21.52
エネ増加量(原油換算万kl)						
高機能化効果	2.90	3.90	4.28	4.03	3.49	3.42
エネ増減量(原油換算万kl)						
総計	49.57	66.86	83.47	80.11	70.34	78.51
CO <sub>2</sub> 削減量(万t-CO <sub>2</sub> )						
燃料削減効果(耐用年)	100.58	135.68	176.83	170.63	150.47	166.92
鋼材削減効果(製造年)	49.08	65.44	71.63	68.19	59.61	66.23
CO <sub>2</sub> 増加量(万t-CO <sub>2</sub> )						
高機能化効果	8.83	11.78	12.89	12.27	10.73	10.54
CO <sub>2</sub> 増減量(万t-CO <sub>2</sub> )						
総計	140.83	189.34	235.57	226.55	199.35	222.61

(注) 図 4.1 に示した船舶用厚板使用量の98.7%を外航船向けであると想定した。

(2) この分析では十分に考慮できていない要素

使用鋼材量減少のため、鋼材輸送に要するエネルギー、鋼材加工量減による船舶建造に要するエネルギー（鋼材切断や曲げ、クレーンでの吊りエネルギー等）、鋼材表面積減による塗装量の削減、廃船時に要するエネルギー（解体、輸送等）など、各工程で必要なエネルギーが削減できる。この分析ではこれら要素は、必ずしも十分に分析できていない。

この分析では、内航船に対する高張力鋼の適用はほとんどないとみなして、内航船船舶による輸送燃料の省エネルギー効果は分析しなかったが、この点に関してはさらに確認を加えることが必要である。

船舶鋼材に関する新たな高機能鋼材および用途としては、耐アトレス製鋼による船舶の長寿命化や、ジェットフォイル、テクノスーパーライナー等へのステンレス鋼ハニカムの適用による船体軽量化等が研究されているが、その省エネルギー効果について現時点で定量的な評価をするのは難しいため、この報告書では試算を行っていない。

(参考文献)

- 1) (社)日本鉄鋼連盟、「LCA的視点からみた鉄鋼製品利用のエネルギー評価調査」、1997年3月
- 2) (社)日本造船工業会、「造船関係資料(2001年)」
- 3) 国際エネルギー機関(IEA)、「Energy Statistics of Non-OECD Countries (2001 Edition)」
- 4) 富吉剋之ほか、「最近の船体用高張力鋼の使用についての動向」、日本造船学会誌第652号、1983年10月
- 5) 真鍋英夫、「造船用鋼材の基礎知識」、鉄鋼界、2001年10月
- 6) 坂井保也監修、「船舶知識のABC」、成山堂書店
- 7) 造船テキスト研究会、「商船設計の概要」、成山堂書店
- 8) 鋼材倶楽部編、「鉄鋼製品普及シリーズ No. 52 造船と鋼材」、1994年12月
- 9) 国土交通省、「船舶調査(平成12年)」、国土交通省ホームページ

参考資料1 船舶用厚板の重量軽減率

基本的考え方：普通鋼（強度  $\sigma_{MS}$ ）で確保した構造物の強度を高張力鋼（強度  $\sigma_{HT}$ ）で確保する。

船の長さ（キール長、船幅長等）は、普通鋼船も高張力鋼使用船も同じ。  
従って、普通鋼と高張力鋼の使用での違いは、断面積の違いに相当する。  
長さが同じなので、断面積  $S$  の違いは使用体積  $V$  の違いに相当する。  
強度一定の下で

$$\sigma_{HT} S_{HT} = \sigma_{MS} S_{MS}$$

ここで、 $L_{HT} = L_{MS} = L$  なので

$$\sigma_{HT} S_{HT} L = \sigma_{MS} S_{MS} L$$

$$\sigma_{HT} V_{HT} = \sigma_{MS} V_{MS}$$

それぞれの密度を  $\rho_{HT}$ 、 $\rho_{MS}$  とすると、それぞれの重量は、 $W_{HT}$ 、 $W_{MS}$  は、

$$W_{HT} = \rho_{HT} \cdot V_{HT}$$

$$W_{MS} = \rho_{MS} \cdot V_{MS}$$

但し、高張力鋼密度と普通鋼密度は殆ど同じ。即ち

$$\rho_{HT} = \rho_{MS}$$

現在の船（普通鋼と高張力鋼併用）の重量  $W_T^r$  は、普通鋼重量  $W_{MS}^r$  と高張力鋼重量  $W_{HT}^r$  との和であるので、

$$W_T^r = W_{MS}^r + W_{HT}^r$$

一方、高張力鋼が全く使用されない普通鋼だけの船の重量  $W_T^i$  は

$$W_T^i = W_{MS}^1 + W_{MS}^2$$

ここで、上付きの1：高張力化が図られても普通鋼のまま使用される部分

上付きの2：高張力化が図られる部分

$$\begin{aligned} W_T^i &= W_{MS}^1 + W_{MS}^2 = W_{MS}^1 + V_{MS}^2 = W_{MS}^1 + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) V_{HT}^2 \\ &= W_{MS}^1 + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^2 \\ &= W_{MS}^1 + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^r \end{aligned}$$

ここで、 $W_{MS}^1$  は  $W_{MS}^r$  に他ならず、 $W_{HT}^2$  は  $W_{HT}^r$  に他ならない。よって、

$$W_T^i = W_{MS}^r + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^r$$

従って、普通鋼のみで建造されたと仮定した船の重量  $W_T^i$  と高張力鋼を部分的に使用して建造された船の重量  $W_T^r$  との差  $W$  は、

$$\begin{aligned} W &= W_T^i - W_T^r \\ &= \left[ W_{MS}^r + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^r \right] - \left[ W_{MS}^r + W_{HT}^r \right] \\ &= \left[ \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) - 1 \right] W_{HT}^r \end{aligned}$$

重量減の割合  $W / W_T^i$  は

$$\begin{aligned} W / W_T^i &= \left[ \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) - 1 \right] W_{HT}^r / W_T^i \\ &= \left[ \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) - 1 \right] W_{HT}^r / \left[ W_{MS}^r + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^r \right] \\ &= \left[ \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) - 1 \right] W_{HT}^r / W_{MS}^r \left[ 1 + \left( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} \right) W_{HT}^r / W_{MS}^r \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= [ ( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} ) - 1 ] / [ 1 + ( \sigma_{HT} / \sigma_{MS} ) ] \\ \text{但し、} &= W_{HT}^r / W_{MS}^r \end{aligned}$$

平均HT化率は、0.7 (真鍋英男「造船用鋼材の基礎知識」、鉄鋼界、2001.10、pp 16-21、(社)日本造船工業会資料)

普通鋼強度  $\sigma_{MS}$  と高張力鋼 (HT32) 強度  $\sigma_{HT}$  との比は、

$$\sigma_{MS} / \sigma_{HT} = 0.78$$

である。(日本造船学会誌、第652号(昭和58年10月)、pp563-578)

HT化率70%における、船殻のMS鋼とHT鋼の使用重量比は、

$$= W_{HT}^r / W_{MS}^r = 0.9$$

ただし、10万DWT以下クラスで代表した。

下図より読取り。(日本造船学会誌、第652号(昭和58年10月)、pp563-578)

重量軽減率は

$$\begin{aligned} W / W_T^i &= [ ( 1 / 0.78 ) - 1 ] 0.9 / [ 1 + ( 1 / 0.78 ) 0.9 ] \\ &= 0.12 \end{aligned}$$



参考資料 2 比例則

- Q : 船の燃料消費量
- V : 船の速力
- P : 船のエンジン出力
- F : 船の満載排水量
- W : 船殻重量
- $K_i$  : 比例係数 (  $i = 1, 2, 3$  )

$$Q = K_1 \cdot P \quad \text{「船舶知識のABC」(坂井保也監修、成山堂書店)}$$
$$P = K_2 \cdot F^{2/3} \quad \text{日本造船学会誌 第 652 号 (昭和 58 年), pp563-578}$$

、より

$$dQ / Q = (2/3) \cdot dF / F \quad \dots \dots \dots$$

一般的に船殻重量Wと船の満載排水量Fの間には、次の関係がある 「商船設計の概要」(造船テキスト研究会、成山堂書店)

$$dF / F = (1 / K_3) \cdot dW / W \quad \dots \dots \dots$$

$K_3$ の値は、経験的にVLCCの原油タンカーが9.3~10で、17万トンの船舶が10.5~11といわれており、ここでは平均10万トン前後の船舶を想定しているので、 $K_3$ の値を12と設定する。従って

$$dF / F = (1 / 12) \cdot dW / W \quad \dots \dots \dots$$

、より

$$dQ / Q = (2/3) \cdot dF / F$$
$$= (2/3) \cdot (1 / 12) \cdot dW / W$$
$$\underline{dQ / Q = (1 / 18) \cdot dW / W} \quad \dots \dots \dots$$

即ち、船殻重量の減少に伴う消費燃料の減少は、船殻重量減少割合の1/18倍で減少する。

お問い合わせ : [ieej-info@tky.ieej.or.jp](mailto:ieej-info@tky.ieej.or.jp)