

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¹

各論 6 . 電車（ステンレス鋼板）

第二研究部環境グループ 主任研究員 大木 祐一

6.1 鉄道車輛数と生産台数

(1) 在籍車輛数

JR グループおよび公営・民鉄各社に在籍する各種鉄道車輛の在籍車輛数を表 6.1 に示す。
（社）日本鉄道車輛工業会によると、JR グループでは、蒸気、電気、ディーゼル機関車および貨車は全て鋼製であり、新幹線車輛は、従来鋼製であったが最近ではアルミ合金製に、ディーゼル車は鋼製あるいはステンレス製、そして客車と電車が従来の鋼製からステンレス製とアルミ合金製に車輛素材を変更している。

一方、公営・民鉄各社では、電車は、従来は鋼製車輛のみであったが、現在では鋼製からアルミ合金製、ステンレス製車輛の占める割合が増加してきている²。

表 6.1 JRグループと公営・民鉄の在籍車輛数（平成 13 年 4 月 1 日現在）

車 種	合計	JR	公営・民鉄
蒸気機関車	17	10	7
電気機関車	942	818	124
ディーゼル機関車	657	531	126
ディーゼル車	3,191	2,637	554
新幹線車輛	3,954	3,954	-
客車	1,264	1,033	231
電車	43,520	18,037	25,483
貨車	18,942	18,319	623
その他	2	-	2
合 計	72,489	45,339	27,150

（出所）（社）日本鉄道車輛工業会

(2) ステンレス車輛数

JR 東日本の新幹線と在来線保有車輛における素材別車輛数（概数）³を表 6.2 に示す。新幹線は鋼製からアルミニウム合金製車輛になり、在来線では車輛数の上では鋼製車輛とステンレス製車輛に二分されている。

¹ 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。

² （社）日本鉄道車輛工業会

³ （社）日本鉄道車輛工業会、（社）日本民営鉄道協会、（社）日本アルミニウム協会軽金属車輛委員会等において、JR グループおよび公営・民鉄各社に在籍車輛の素材別車輛台数に関する資料を入手することはできなかった。

表 6.2 JR 東日本における素材別保有車輛数（新幹線・在来線）

車輛素材	新幹線(両)	在来線(両)	合計(両)
鋼製	70	5,200	5,270
ステンレス製	0	5,000	5,000
アルミニウム合金製	930	500	1,430
合計	1,000	10,700	11,700

(出所) JR 東日本

前回報告書のデータを基に、(社)日本鉄道車輛工業会が保有する毎年のステンレス製車両の生産車輛数(但し電車のデータのみ)を加えて、日本全体のステンレス車輛の保有車輛数を推算することが可能である。

表 6.3 に、前回の報告書に記載された素材別保有車輛数を、表 6.4 にステンレス車輛の保有車輛数(推計)を示す。表 6.4 において、1992 年度の数值は、表 6.3 に示す軽金属協会の資料であり、1995、2000 年度は表 6.5 の(社)日本鉄道車輛工業会と JR 新津車輛製作所の生産数を加算した。2005、2010 年度は、表 6.5 の推測値を加算した。

表 6.3 素材別保有車輛数(1992 年度)

車輛素材	両数(両)	構成割合(%)	JRグループ(両)	民鉄(両)
鋼製	35,059	72.1	21,250	13,809
ステンレス製	7,685	15.8	3,177	4,508
アルミニウム合金製	5,889	12.1	1,320	4,569
合計	48,633	100.0	25,747	22,886

(出所) 軽金属協会資料

表 6.4 ステンレス車輛の保有車輛数(推計)

年度	1992	1995	2000	2005	2010
生産年度	-	92~95	96~00	01~05	06~10
生産数(両)	-	3,648	4,898	5,300	5,900
保有車輛数(両)	7,685	11,333	16,231	21,531	27,431

(出所) 1992 年度: 軽金属協会資料

1995、2000 年度: 日本鉄道車輛工業会と JR 新津車輛製作所

2005、2010 年度: 表 6.5 の推測値

(3) ステンレス車輛の生産台数

(社)日本鉄道車輛工業会の見解では、電車については材料別車輛生産数の割合は今後変化しないとしている。これは車輛素材に対する鉄道事業者側の選択が固定化していることによる。JR グループでは、新幹線はアルミニウム合金製、在来線の通勤車輛はステンレス製とアルミニウム合金製、一方民鉄はアルミニウム合金製と鋼製車輛が多い。

なお大手民鉄から地方の中小民鉄に車輛を売却する場合には、鋼製車輛は修理・改造が容易であるため、ステンレス製やアルミニウム合金製車輛よりも中古需要が多く、そのため高値で取引される。

今後の鉄道車輛生産数は、(社)日本鉄道車輛工業会では、2001 年から 2005 年までの 5 年間は 2000 年とほぼ同数で推移し、2006 年から 2010 年の 5 年間は 2000 年の生産数の 10% 増で推移するものと推測している。

なお新幹線車輛（アルミ製）については、JR 各社の購入車輛数が毎年定数化する傾向があるということで、2005年、2010年共に同数とした。

表 6.5 に、（社）日本鉄道車輛工業会会員企業と JR 新津車輛製作所が生産した電車数（材料別）、表 6.6 に生産した車輛数の素材別割合を示す。
1992 年以前は素材別生産車輛数のデータは入手できなかった。

なお JR 新津車輛製作所の生産車輛数（1995 年～2000 年）は JR 東日本から入手したが、同製作所では主にステンレス車輛を生産している。

表 6.5 （社）日本鉄道車輛工業会会員企業と JR 新津車輛製作所が生産した電車数
（材料別）

車体材料	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	合計	2005	2010
新幹線(鋼製)(両)	27	24	12	48	0	0	0	0	0	111	0	0
新幹線(アルミ製)(両)	278	358	136	149	267	400	294	266	307	2,455	300	300
在来線(鋼製)(両)	316	353	383	337	252	188	183	140	144	2,296	200	220
在来線(アルミ製)(両)	484	128	487	302	338	280	308	549	381	3,257	440	500
在来線(ステンレス製)(両)	874	852	850	952	918	558	535	1,027	899	7,465	1,060	1,180
在来線(ステンレス製) ^(注) (両)				120	180	172	186	203	220	1,081		
合計(両)	1,979	1,715	1,868	1,908	1,955	1,598	1,506	2,185	1,951	16,665	2,000	2,200

(注) (社)日本鉄道車輛工業会の非会員である、JR 新津車輛製作所が生産した車輛数(大部分がステンレス製車体)

表 6.6 日本鉄道車輛工業会会員企業と JR 新津車輛製作所が生産した電車の材料別割合
(単位：%)

車体材料	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	96-00平均	2005	2010
鋼製車体	17.3	22	21.1	20.2	12.9	11.8	12.1	6.4	7.4	10.1	10	10
ステンレス製車体	44.2	49.7	45.5	56.2	56.2	45.7	47.9	56.3	57.4	52.7	53	53
アルミ製車体	38.5	28.3	33.4	23.6	30.9	42.5	40	37.3	35.2	37.2	37	37
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(注 1) 2005 年、2010 年の素材別生産割合は変化しない

(注 2) 生産数は、2005 年は 2000 年と同数、2010 年は 10% 増とする

6.2 車体の軽量化と走行エネルギー

(1) 車体の軽量化

表 6.7 に在来線車輛の使用素材構成を示す。鋼製とステンレス製を比較するために、山手線車輛である 103 系（鋼製）と 205 系（ステンレス製）で比較する⁴。

JR 東日本によると、103 系は 1963 年に就役して 1988 年まで山手線で使用されてきたが、現在では武蔵野線、南武線、鶴見線といった首都圏近郊の在来線で使用中であり、今後も暫くはこれらの路線で使用される。一方 205 系は 1985 年に就役し、現在首都圏中心部の在来線主力車輛として 1,000 両以上が使用されている。

なお鉄道車輛は、一般に 1 編成を基準に車体構成されており、同じ車輛であっても、編成の装備により各車輛の重量は異なる。

⁴ (社)日本鉄道車輛工業会によれば、103 系と 205 系は同等な車輛である。

表 6.7 在来線車輛の使用素材構成

型式	使用素材					自重 合計	備考
	鋼	ステンレス	アルミ	銅	その他		
山手線 103系	30.5	0.2	0.6	2.1	2.5	35.9	鋼製
	85	0.6	1.7	5.8	6.9	100	
山手線 205系	17.6	6.8	0.2	2	3.1	29.5	ステンレス製
	59	23	0.7	6.8	10.5	100	
菅団 9000系	16.7	2.9	5.3	1.4	2.6	28.9	アルミ合金製
	57.9	10	18.3	4.8	9	100	

(出所) 日本アルミニウム協会 軽金属車輛委員会資料 平成 13 年 3 月
(注) (単位: 上段 t、下段%)

表 6.7 より

鋼製とステンレス車体の車輛重量の減少 : 29.5 - 35.9 = 6.4t
 普通鋼の減少 17.6 - 30.5 = 12.9t
 ステンレス鋼の増加 6.8 - 0.2 = 6.6t

となる。

(2) 走行エネルギーと年間走行距離

走行エネルギー

表 6.8 に、山手線用車輛である、103 系（鋼製）と 205 系（ステンレス製）の走行エネルギーの比較を示す。JR 東日本の資料であるが、記載されているのは割合であり、具体的な数値は公表できないと回答があった。

走行エネルギーの削減要因としては、車輛の軽量化、電力回生ブレーキ（ブレーキをかける時にモーターで発電し、その電力を再び走行用の電力として使用）の採用、VVVF インバータ制御（可変電圧、可変周波数のことで、これによりモーターの回転数を変えて車輛の速度を制御する方式）の採用等があげられる。走行エネルギー削減に対する、車輛の軽量化、電力回生ブレーキの採用、VVVF インバータ制御の採用等の寄与割合について、同様に JR 東日本に問い合わせたが、測定したデータがないという回答であった。

表 6.8 鋼製車輛とステンレス製車輛の走行エネルギー比較

型式	消費エネルギー割合
山手線 103系	100
山手線 205系	66

(出所) JR 東日本

走行エネルギーと年間走行距離に関する既存データ調査（その 1）

ステンレス製車輛の走行エネルギー原単位を、表 6.9 に示す。
 但し JR 車輛ではなく、1992 年に製造を開始した東急電鉄の 2000 系車輛のデータであるため、JR 車輛と比較して年間走行距離が短い。しかし本文献においては、日本鉄道車輛工業会 LCE ワーキンググループに参加した鉄道会社の実績値を使用したとしている。

表 6.9 走行エネルギー

項目	新幹線	地下鉄	民鉄在来線
	200系	05系	2000系
製造開始年度	1980	1988	1992
車体材質	アルミ合金	アルミ合金	ステンレス
自重(t)	57.1	26.7	31.6
車長(m)	25	20	20
走行原単位	kWh/km/両	1.94	1.24
	kWh/km/両・t	0.034	0.046
年間走行距離	万km/年/両	47.5	12
			10.8

(出所) 日本鉄道車輛工業会 LCE ワーキンググループ、「車輛技術 213 号」、平成 9 年 6 月

走行エネルギーと年間走行距離に関する既存データ調査 (その 2)

表 6.10 に、JR 東日本の車輛の年間走行距離を示す。

JR 東日本のホームページのデータと(社)日本鉄道車輛工業会のデータを組み合わせて、年間走行距離を推算した。在来線で 16 万 km / 年 / 両である。

なお JR 東日本に確認したところ、妥当な数値であるという回答があった。

表 6.10 JR 東日本の車輛の年間走行距離

種類	車輛キ口	車輛数	走行距離	年間走行距離
(単位)	(万km/日)	(両)	(km/日)	(万km/年/両)
会社全体	597	13,554	440	15
新幹線	103	1,161	890	31
在来線	494	10,684	460	16

(出所) JR 東日本 Web サイト

6.3 車輛の耐用年数について

(社)日本鉄道車輛工業会および(社)日本民営鉄道協会、(社)日本アルミニウム協会軽金属車輛委員会のヒアリングから鉄道車輛の耐用年数について以下のことが判明した。

すべての鉄道用車輛には法定耐用年数はない。

定期的な車体検査を繰り返して、修理と消耗部品の交換を行う体制。

検査期間

新幹線：走行距離 40 万 km 毎もしくは 1 年 6 ヶ月毎、さらに 3 年毎に車体の全検査。

在来線：3 年毎に車体の全検査。

一般的な車輛の使用期間

鋼製、ステンレス製等の車体素材の違いによる、使用期間の差はない。

JR グループ

新幹線：15～20 年

在来線：30 年以上(都市圏からローカル線に移す)

公営・民鉄

在来線：35～40 年(大手から中小に売却される。)

営団地下鉄でも、実際には車輛の修理と改造を繰り返して 40 年位使用している。

6.4 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

従来の鋼製車輻に比較してステンレス製車輻では車輻重量が軽量化されるため、走行時に必要とされるエネルギー消費量は軽減される。しかし普通鋼とステンレス鋼とを比較すると、生産段階のエネルギー使用原単位は、普通鋼よりもステンレス鋼の方が大きく、そのため生産段階のエネルギー使用量は増加する。

本分析においては、生産段階のエネルギー増加と走行エネルギーの削減を合わせて評価する。

(2) エネルギーの削減効果

ステンレス車輻の軽量化による走行エネルギーの削減効果および生産段階におけるエネルギー増加は、以下の方法によって試算した。

$$1 \text{ 車輻当たり重量軽減量 (X) } = W - W S$$

$$1 \text{ 車輻当たりステンレス鋼生産時の投入エネルギー増加量 (E D) } = E S - E$$

$$1 \text{ 車輻当たり年間エネルギー削減量 (P) } = e \times X \times L$$

$$\text{年間総省エネルギー量 (Z) } = (P \times Y A - E D) \times N S (y)$$

ここで、

W : 鋼製車輻重量 (t / 車輻)

W S : ステンレス鋼製車輻重量 (t / 車輻)

e : 1 車輻単位距離走行時の単位車輻重量軽減当たりの走行エネルギー軽減量 (MJ / km / 両・t)

L : 1 車輻当たりの年間走行距離 (km / 年 / 両)

N (y) : 各年の鋼製車輻生産台数 (両 / 年)

N S (y) : 各年のステンレス製車輻生産台数 (両 / 年)

E : 鋼製車輻 1 輻分の普通鋼生産段階での投入エネルギー (GJ / t)

E S : ステンレス製車輻 1 輻分のステンレス鋼生産段階での投入エネルギー (GJ / t)

Y : ステンレス製車輻の法定耐用年数 (年)

Y A : ステンレス製車輻の実耐用年数 (年)

6.5 電車へのステンレス鋼板適用による省エネルギー量

(1) 試算データの確認

表 6.11 必要データの項目と具体的な数値

	内 容	数 値 (単 位)	備 考
W	鋼製車両重量	35.9 (t / 車 輛)	山手線 103 系
WS	ステンレス鋼製車両重量	29.5 (t / 車 輛)	山手線 205 系
E	車両単位距離走行時の単位車両重量 軽減当たりの走行エネルギー軽減量	0.1 ^(注) (MJ / km / 両 ・ t)	東急電鉄 2000 系 ステンレス車両
L	1 車両当たりの年間走行距離	16 万 (km / 年 / 両)	JR 東日本在来線
N(y)	各年の鋼製車両生産台数		表 6.5 参照
NS(y)	各年のステンレス製車両生産台数		表 6.5 参照
E	ステンレス製車両 1 輛分の普通鋼減 少生産段階での投入エネルギー	24.12 (GJ / t)	(社)日本鉄鋼連盟 調べ
ES	ステンレス製車両 1 輛分の増加ステ ンレス鋼生産段階での投入エネルギ ー	32.92 (GJ / t)	(社)日本鉄鋼連盟 調べ
Y	ステンレス製車両の法定耐用年数	なし	
YA	ステンレス製車両の実耐用年数	30 (年)	在来線

(注) 車両単位距離走行時の単位車両重量軽減当たり走行エネルギー軽減量の推定については、JR103、205 系の走行エネルギーは未公表のため、東急電鉄 2000 系ステンレス車両のデータ (0.055kWh / km / 両 ・ t) を使用し、JR103、205 系の走行エネルギー比 (100 対 66) から求めた。0.055 / 0.66 - 0.055 = 0.028 (kWh / km / 両 ・ t) = 0.1 (MJ / km / 両 ・ t)

(2) 電管用ステンレス鋼板の省エネルギー量

表 6.12 に、電管用ステンレス鋼板の省エネルギー量を示す。

1 車両当たりの普通鋼とステンレス鋼の生産時の投入エネルギー増加量 ($E_D = E_S - E$) では、ステンレス鋼生産の投入エネルギーの増加分 (ステンレス 6.6t 分に相当) よりも、普通鋼生産時の投入エネルギーの減少分 (鋼 12.9t 分に相当) が多いため、全体として省エネルギーになる。

表 6.12 電車用ステンレス鋼板の省エネルギー量

項目			1992	1995	2000	2005	2010	ポテンシャル
各年のステンレス車輦 生産台数(両/年)	NS(y)	車輦	874	1,072	1,119	1,060	1,180	1,400
車輦重量軽減量 (t/両)	X	車輦	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
		鋼	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
		ステンレス	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
鋼/ステンレス生産時の 投入エネルギー増減 (GJ/両)	ED	鋼	311	311	311	311	311	311
		ステンレス	217	217	217	217	217	217
		合計	94	94	94	94	94	94
鋼/ステンレス生産 時の投入エネルギー減量 (TJ/年)	ED × NS(y)		82	101	105	100	111	132
走行エネルギー削減量 ^(注1) (GJ/年/両)	P		102	102	102	102	102	102
走行エネルギー削減 総量(GJ/30年/両)	P × YA		3,060	3,060	3,060	3,060	3,060	3,060
走行エネルギー削減総量 (TJ/年)	P × YA × NS(y)		2,670	3,280	3,420	3,240	3,610	4,280
エネルギー削減総量 ^(注2) (TJ/年)	Z		2,752	3,381	3,525	3,340	3,721	4,412

(注1) 1車輦当たり年間走行エネルギー削減量 ($P = e \times X \times L$)

$0.0001 \text{ (GJ/km/両} \cdot \text{t)} \times 6.4 \text{ (t/両)} \times 160,000 \text{ (km/年/両)} = 102 \text{ (GJ/年/両)}$

(注2) 年間総省エネルギー量 (Z) = ($P \times YA - ED$) × NS (y)

(3) ステンレス車輦が最大に普及した場合の評価 (ポテンシャル)

表 6.12 に、ステンレス車輦が最大に普及した場合の評価 (ポテンシャル) を示す。ここで、毎年の車輦生産台数において、鋼製車輦が全てステンレス製車輦に移行したと仮定している。またステンレス製車輦の生産台数は 1,400 台/年とした。

6.6 まとめ

表 6.13 に電車用ステンレス鋼板を適用した場合のエネルギー消費量(省エネ量)を示す。車輦生産時のエネルギー削減効果と車輦走行時のエネルギー削減効果とに分けて示す。車輦生産時のエネルギー削減効果は、表 6.12 の ($ED \times NS(y)$) 欄、車輦走行時のエネルギー削減効果は、同様に表 6.12 の ($P \times YA \times NS(y)$) 欄の数値を用いている。なお前述したように、1車輦当たりでは、ステンレス鋼生産エネルギーの増加分(ステンレス 6.6t 分に相当)よりも、普通鋼生産時の投入エネルギーの減少分(鋼 12.9t 分に相当)が多いため、普通鋼からステンレス鋼に高機能化したにもかかわらず、車輦生産段階でも省エネルギーになる。

表 6.13 電車用ステンレス鋼板の適用によるエネルギー消費のまとめ

	1992	1995	2000	2005	2010	ポテンシャル
車輛生産時のエネルギー削減量 (GJ/両)	94	94	94	94	94	94
車輛走行時エネルギー削減量 (GJ/年/両)	102	102	102	102	102	102
各年のステンレス車輛 生産台数(両/年)	874	1,072	1,119	1,060	1,180	1,400
省エネ量(千TJ)						
車輛生産時エネルギー削減効果	0.08	0.1	0.1	0.1	0.11	0.13
車輛走行時エネルギー削減効果	2.67	3.28	3.42	3.24	3.61	4.28
省エネ量(千TJ) 総計	2.75	3.38	3.53	3.34	3.72	4.41
省エネ量(原油換算万kl)						
車輛生産時エネルギー削減効果	0.22	0.27	0.27	0.27	0.30	0.35
車輛走行時エネルギー削減効果	7.24	8.89	9.27	8.78	9.78	11.60
省エネ量(原油換算万kl) 総計	7.46	9.16	9.54	9.05	10.08	11.95
CO ₂ 削減量(CO ₂ 換算万t)						
車輛生産時エネルギー削減効果	0.66	0.82	0.82	0.82	0.92	1.09
車輛走行時エネルギー削減効果	11.93	13.61	13.47	12.77	14.22	16.86
CO ₂ 削減量(CO ₂ 換算万t) 総計	12.59	14.43	14.29	13.59	15.14	17.95

また表 6.14 に、ステンレス鋼の採用による製造時のエネルギー増加分を示す。普通鋼とステンレス鋼とを比較すると、生産段階のエネルギー原単位は、普通鋼よりもステンレス鋼の方が多く、そのため生産段階に限定すればエネルギーは増加する。このエネルギー増加分を、普通鋼からステンレス鋼への高機能化による生産段階の増エネルギーとして、以下の方法によって試算した。

$$\begin{aligned} \text{高機能化による生産エネルギーの増加} &= \text{エネルギー原単位増加分} \\ &\times \text{ステンレス鋼使用量} \\ &\times \text{車輛数} \end{aligned}$$

表 6.14 電車用ステンレス鋼板の適用による製造エネルギーの増加

	1992	1995	2000	2005	2010	ポテンシャル
ステンレス増加量(t/両)	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
ステンレス車輛生産台数(両/年)	874	1,072	1,119	1,060	1,180	1,400
ステンレス鋼総重量(t/年)	5768	7075	7385	6996	7788	9240
増エネ量(千TJ)						
鋼板製造の高機能化(ステンレス)	0.051	0.062	0.065	0.062	0.069	0.081
増エネ量(原油換算万kl)						
鋼板製造の高機能化(ステンレス)	0.138	0.168	0.176	0.168	0.187	0.220
CO ₂ 量(CO ₂ 換算万t)						
鋼板製造の高機能化(ステンレス)	0.422	0.508	0.532	0.513	0.577	0.678

(参考文献)

- 1) (社)日本鉄鋼連盟、「LCA的視点から見た鉄鋼製品利用のエネルギー評価調査」、1997年3月
- 2) (社)軽金属協会 軽金属車輛委員会、「軽金属車輛委員会報告書」No. 6 (1990年~1997年)、1999年3月
- 3) (社)軽金属協会 軽金属車輛委員会、「アルミニウム合金製車輛 リサイクルの現状と将来」、2001年3月
- 4) (財)クリーン・ジャパン・センター、「製品アセスメント個別指導書作成事業報告書」(アルミニウム合金製鉄道車輛)、1998年3月
- 5) 小関康雄、車輛技術 213号「鉄道車輛のライフサイクルエネルギー」、1997年3月
- 6) 宮内瞳留ほか、鉄道総研報告 Vol.12、No.10「鉄道へのライフサイクルアセスメント適用のための基礎調査」、1998年

お問い合わせ : ieej-info@tky.ieej.or.jp