



UDC 620.22-036.5

鉄鋼の競合材料としてのエンジニアリングプラスチック

島 村 昭 治*

Present Status of Engineering Plastics as a Rival to Iron and Steel

Shoji SHIMAMURA

1. 競合を意識するとき

筆者は、鉄鋼競合材料としてのプラスチックと題して意見を求められた事が、10年ぐらい前に1度ある。それは某業界紙の経済セミナーの添えものとしてであつて、お歴々の中にまじつて、こそこそ話した記憶がある。その時の記録は散逸してしまつたので、どんな内容の話だつたか定かでないが、高度成長時代の終わり頃とは言え、まだ我々はかげりにも気付かない時であつたから、全体が勇ましい話であり、材料代替ということも、単なる機能面やコスト面からのそれであつて、現在のように資源・エネルギー論、廃棄性やリサイクルを含めての議論は少なかつたように思う。そしてその時の筆者の結論は、プラスチックとの競合を鉄鋼はマクロには気にする必要はないということであつた。ここでいうマクロとは鉄鋼への需要量ということである。これに対し、ミクロすなわち個々の鉄鋼製品の中では、すでにあるいはこれからプラスチック化されるものは数多くある。しかし、それは朝食のバターがマーガリンに代わつたけれど、パンはやはりパンであるということで、鉄鋼関係者は関心を持つべきであるけれど、危機感を持たなくてもよい。それは年産1億tベースの鉄鋼、800万tベースのプラスチック、25万tベースの繊維強化プラスチック(FRP)の年産規模(現在)から考えてみるとわかる。しかし、これは重量比(400:32:1)であつて、容積比をとつてみると(鉄鋼、プラスチックおよびFRPの比重をそれぞれ7.8、1.2および1.7とした)、87:45:1となるから、まわりを見ると、やたらにプラスチックが目につくので、競合ということが頭の隅をかすめるのかも知れない。またプラスチック側にとつては、バターがマーガリンに代わるということが重要なので、メーターケースのプラスチック化は、インストルメントパネルのプラ化へ、そしてフロントエンドのプラ化へと広がり、いずれはアウターボデーのプラ化と夢をふくらませるからであ

る(前々者については大幅にプラ化されていることは周知のとおりである)。

さて、10年前の鉄鋼界におけるプラスチックとの競合意識は、輪島が大学相撲から角界に入つた時の横綱の意識のようなもので、少し気になるから様子をさぐろうという程度であつたが、最近のそれは千代の富士が関脇(大関ではない)に上つて来た時ぐらいの関心ではないだろうか。

鉄鋼界が、プラスチック(この場合は主としてFRP)に対してはつきり競合材料として多少の危機感を持つたのは、1977年にFordがいわゆるLight Weight Vehicle Programを発表した時である。これは同年に米国DOEがEnergy Policy and Conservation Actを発表し、乗用車の燃費規制の目標値として、1978年の18MPG(7.6km/l)を順次高め、1985年には27.5MPG(11.6km/l)とすることを要求し、しかも、0.1MPG下回るごとに生産車1台当たり5ドルのペナルティを課すと発表したことによる。自動車の燃費向上策としては、車の小型化(アメリカではこれがもつとも効果的)、エンジンの効率向上、空気抵抗等の走行抵抗の軽減および軽量化があり、この中の軽量化の1手段としての材料置換にFRPの大幅採用をとり入れたのが、前述のFordのプロジェクトである。図1は、Fordが示した軽量化のための主要材料代替部位を示したものであるが、これにより300kg以上の軽量化を図り、燃費率を7.2km/lから9.7km/lに向上するとしている。この車の試作車Ford LTD '79は1979年5月に発表されたが、表1によると鋼板からCFRP(カーボン繊維強化プラスチック—図1ではグラファイト強化プラスチック)への転換により、全体で約320kgと所期の軽量化を達成している。

表2は、自動車に用いられる主要素材の、国内全需要に占めるシェアを示したものであるが¹⁾、いかに自動車工業材料の大きな消費先であるかがわかる。例えば、

昭和56年2月19日受付(Received Feb. 19, 1981) (依頼解説)

* 機械技術研究所 工博(The Mechanical Engineering Laboratory, 1-2 Namiki Sakuramura Niihari-gun 305)

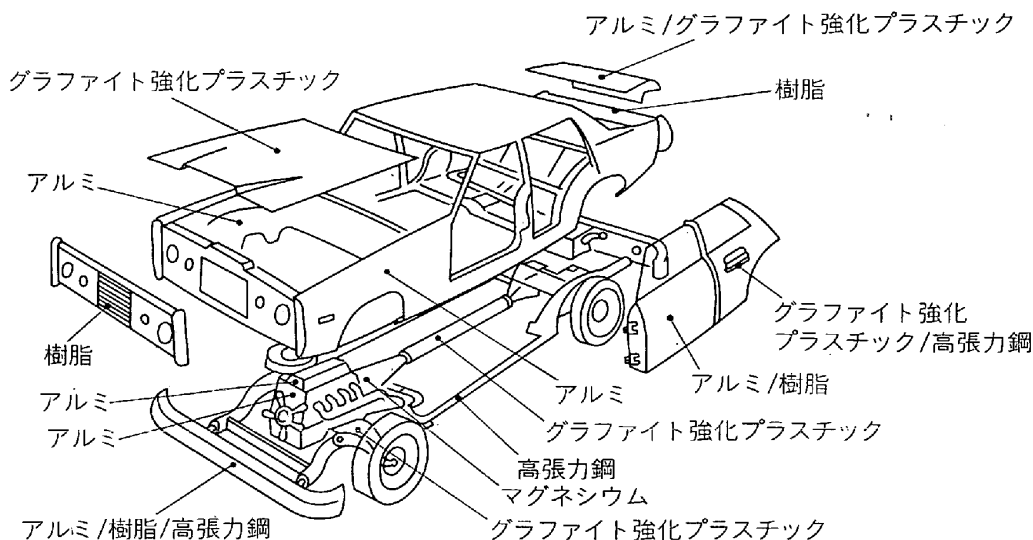


図1 Fordの材料代替案

表1 CFRP部材による軽量化 (Ford LTD '79)

部品名	鋼の場合 (kg)	CFRPの場合 (kg)	重量軽減 (kg)
ボディ	208.8	94.2	114.6
フレーム	128.1	93.9	34.2
フロントエンド	43.5	13.3	30.2
バックリッド	19.4	6.3	13.1
パネール	55.8	20.1	35.7
ホイール	41.7	22.3	19.3
その他	70.6	27.7	42.8
計	621.3	301.6	319.8

現在の自動車ボデー外板は、ほとんど冷延鋼板であるが、これは全需要の36%を占めており、ばね鋼にいたっては76%が車に向けられている。従つて図1に示すように、あるいは後述するように、ボデーやサスペンションスプリングがもし大幅にFRP化されるとしたら、鉄鋼界にとって大問題である。それゆえ、プラスチックへの競合意識は、10年前より少し真剣であるように思える。以下、鉄鋼とプラスチックの競合の実態あるいは可能性ということについて述べるが、鉄鋼はきわめて広い応用分野を有するので、ここでは最大の需要家である自動車を対象とし、プラスチックもエンジニアリング的機能を有するものに限ることにする。

2. エンジニアリングプラスチック

表題に用いたエンジニアリングプラスチックは、Engineering Plastics のことであるが、この言葉本来の意味すなわち工業用プラスチックと、プラスチックの世界で考えられているカテゴリーとは多少異なり、かつそのカテゴリー自身が最近では少し(好ましい方向に)変わりつつあるので、まずエンジニアリングプラスチック(以下エンプラと略す)とは何かについて述べよう。

表2 自動車生産用主要素材の位置づけ (1979年ベース)

		全 需 要 量 (1 000 t)	自動車 の 所 要 量 (1 000 t)	%	
金 属 材 料	普通鋼	熱間圧延鋼材(ベース)	78 390	8 290	11
	特殊鋼	熱冷延薄板	5 960	1 060	18
		炭素合金鋼	11 880	4 280	36
非 鉄 金 属 材 料	非鉄金属	鋼管	6 560	390	6
		熱間圧延鋼材(ベース)	11 070	2 730	25
		特殊鋼	2 810	1 090	39
		構造用合金鋼	2 420	750	31
非 金 属 材 料	合成樹脂	ねじ	580	440	76
		軸受	580	130	22
		銅地金	1 307	110	8
		鉛地金	267	96	36
そ の 他	塗料	亜鉛地金	754	66	9
		アルミ地金(含再生塊)	2 384	451	19
		ABS樹脂	302	79	26
		塩化ビニル樹脂	1 551	123	8
そ の 他	その他	軟質ウレタンフォーム	174	53	30
		ポリプロピレン樹脂	1 003	68	7
そ の 他	その他	塗料	2 048	178	9
		ゴム(含天然ゴム)	1 220	648	53

(注) 鉛地金の全国需要量は新鉛地金のみ、自動車需要量には再生鉛を含む。

2.1 エンプラとは

エンプラという言葉が初めて使われるようになったのは、十数年前に米国 Du Pont 社が、ポリアセタール樹脂“デルリン”を上市した時で、その意味はそれまで汎用されていたプラスチック(例えばポリスチレン、ポリエチレン、塩化ビニルなど)のように日用品指向でなく、機械、電気部品などの工業的用途を主とする熱可塑性プラスチックということであつた。そしてポリアセタールのほかに、前後し実用化されたポリカーボネート、PET、

表 3 調査対象高機能樹脂の種類

非 強 化 樹 脂	強 化 樹 脂
ポリアミド { 6 ナイロン 66 ナイロン その他ナイロン ポリアセタール ポリカーボネート PET系 PBT ふつ素樹脂 ポリフェニレンオキシド けい素樹脂 ポリフェニレンサルファイド ポリアリレート	強化ポリ { 強化6 ナイロン アミド { 強化66 ナイロン 強化その他ナイロン 強化ポリアセタール 強化ポリカーボネート 強化PET系 強化PBT 強化ふつ素樹脂 強化ポリフェニレンオキシド 強化けい素樹脂 強化ポリフェニレンサルファイド 強化ポリアリレート
—	強化ポリプロピレン
—	強化AS樹脂
—	強化ABS樹脂

注) ここでいう「強化」とは、ガラス繊維、炭素繊維、フィラー等を樹脂に入れ、本来の樹脂の性質を力学的に補強したものをいう。

PBT, シリコーン, ふつ素樹脂および既にエンジニアリングにもかなり使われていたナイロンなどを総称してエンブラと呼ぶようになった。しかし、これは考えてみると、おかしい定義であつて、工業用のプラスチックという語義本来の意味では、約 60 年の歴史を有するフェノール樹脂や各種の FRP もそれに含まれるし、ポリプロピレン (PP) なども強化品は、例えば自動車のヒーターコアケーシングにタルク充てん PP が用いられており、これも立派なエンブラである。Du Pont でも最近では Engineering Plastics という言葉は余り使わず、代わりに Engineering Thermoplastics という言葉を使っている。Du Pont は熱可塑 (thermoplastics) が主で、熱硬化 (thermosets) はほとんど生産していないのでこう変えたのであろうが、この方が誤解をまねかなくてよい。

通産省基礎産業局では、エンブラが最近伸びているにもかかわらず、その実態が不明確であるとして、一昨年 53 年の需要構造調査を行い、その結果が発表されたが²⁾、ここではエンブラの代わりに高機能樹脂という用語が、次のような定義で用いられている。

「汎用プラスチックに比べ、耐熱性、耐久性、機械的特性等がすぐれ、輸送部品、機械部品、電機、電子部品等の高度な特性を要求される工業用プラスチック材料」そして対象としてあげたものは表 3 のごとくである。この表にみるごとく、PP, AS および ABS はそれ自体は汎用でエンブラではないが、その強化品はエンブラと考えている。また表中に、いわゆる FRP (正しくは FRTS)* が抜けているのは、これはすでに統計が確立しているか

* FRP (繊維強化プラスチック) は、FRTS (Fiber Reinforced Thermosets, 繊維強化熱硬化性プラスチック) と FRTP (Fiber Reinforced Thermoplastics, 繊維強化熱可塑性プラスチック) に大別されるが、慣用として FRP=FRTS とすることが多い。

らである。従つて本稿では、定義としては上記により、その内容としては、FRTS も含めて考えることにする。

2.2 生産量と用途

エンブラはわが国でどのくらい生産されているか、これは競合を考える上の第 1 歩である。前述の調査をまとめたのが表 4 である。これによると昭和 53 年の総生産量は、約 25 万 t である。これには抜けている FRTS の統計が、表 5 である。表 4, 5 は用途の分け方が少し異なるが、表 5 の雑貨も一応含めて考えると、昭和 53 年のエンブラ全生産は約 45 万 t となる。そしてその樹脂別の内訳は、内外需を含め上位 6 つをあげると、

1. FRTS (主として GRUP (ガラス繊維強化不飽和ポリエステル)) 203 910 t
2. PET 系 67 940 t
3. ポリアミド系 59 530 t
4. ポリアセタール 37 510 t
5. ポリカーボネート 28 990 t
6. 強化ポリプロピレン 27 140 t

となつている。

次に用途別の内訳では、表 4 の高機能樹脂に限ると上位 5 つは次のごとくで、

フィルム	62 855 t
自動車	42 677 t
電機	26 125 t
電子	25 841 t
容器・雑貨	17 365 t

成形品としては、自動車が第 1 の用途であることがわかる。ところが表 5 に見るごとく FRTS の自動車への使用は 53 年においてわずか 3 000 t (1.5%) である。しかし、これはわが国における需要であつて、米国では表 6 に見るごとく 1978 年の全生産量 902 700 t のうち 26.5% の 239 400 t が自動車に向けられている。このようになぜわが国において FRTS の自動車への使用比率がいちじるしく低いかは、興味ある課題であるが、ここでは触れない。ただし表 6 のアメリカの統計は FRP となつているように FRTS だけでなく FRTP も含んでいる。アメリカの 1978 年における FRTP の生産量は約 10 万 t で、その 57.5% が自動車向けと言われているが³⁾、それを表 6 から差引いても、全 FRTS 約 80 万 t のうち、約 18.2 万 t (23%) が自動車向けであり、日本の比率の 15 倍である。1978 年における米国の自動車用 FRTP 約 5.8 万 t に対し、日本では表 4 より約 2.3 万 t 弱となる (ここで弱という表現をとつたのは、表 4 より PET およびその他樹脂については統計上の守秘のため強化、非強化が公開されていないため、全量を強化として算入したからである)。これから自動車用 FRTP の日米の比較は約 1:2 であり、FRTS における 1:15 とはいちじるしく異なる。この辺のところは、わが国におけるこれからのエンブラと鉄鋼との競合を考える上に留

表4 供給者における樹脂別、強化非強化別および用途別出荷量調査結果

(単位：t)

樹脂		ポリアミド*1			ポリアセタール			ポリカーボネート			PET系		P B T		
		強化	非強化	計	強化	非強化	計	強化	非強化	計	強化および非強化	強化	非強化	計	
成形品	工業製品	自動車	2 173	8 080	10 253	646	8 694	9 340	83	1 259	1 342	400	1 374	130	1 504
		その他輸送機械	47	731	778	0	200	200	25	193	218	50	28	6	34
		電機機器	1 572	3 407	4 979	250	3 710	3 960	1 091	4 567	5 658	1 200	1 796	448	2 244
		一般機械	628	2 453	3 081	340	8 440	8 780	905	3 459	4 364	900	2 436	404	2 840
		精密機械	529	1 630	2 159	100	2 590	2 690	158	1 326	1 484	230	136	113	249
		その他	34	215	249	0	1 150	1 150	489	1 242	1 731	70	499	80	579
		小計	24	632	656	0	550	550	186	960	1 146	0	105	52	157
		容器・日用品	5 007	17 148	22 155	1 336	25 334	26 670	2 937	13 006	15 943	2 850	6 374	1 233	7 607
		雑貨材	112	3 247	3 359	0	4 050	4 050	173	1 293	1 466	6 878	23	84	107
		建築資材	0	3 771	3 771	0	1 220	1 220	20	403	423	0	0	5	5
土木・農水産畜産資材	0	754	754	0	0	0	0	35	35	0	0	0	0		
合計	5 119	24 920	30 039	1 336	30 604	31 940	3 130	14 737	17 867	9 728	6 397	1 322	7 719		
成形品	工業製品	フィルム	0	9 597	9 597	0	0	0	0	1 345	1 345	51 240	0	0	0
		シート・板・合成皮革	0	1 911	1 911	0	700	700	0	2 066	2 066	300	0	0	0
		パイプ・継手・ホース	0	710	710	0	0	0	4	192	196	200	0	0	0
		チューブ	0	5 964	5 964	0	0	0	0	745	745	1 770	0	106	106
延伸テープ	5 119	43 102	48 221	1 336	31 304	32 640	3 134	19 085	22 219	63 238	6 397	1 428	7 825		
輸出品	合計	351	10 961	11 312	140	4 729	4 869	208	6 560	6 768	4 700	50	30	80	
		5 470	54 063	59 533	1 476	36 033	37 509	3 342	25 645	28 987	67 938	6 447	1 458	7 905	

表4 (つづき)

(単位：t)

樹脂		ふつ素樹脂			けい素樹脂			ポリプロピレン	AS樹脂	ABS樹脂	その他樹脂*2	合計	
		強化	非強化	計	強化	非強化	計	強化	強化	強化	強化および非強化		
成形品	工業製品	自動車	42	108	150	0	0	0	14 208	4 280	24	1 176	42 677
		その他輸送機械	20	44	64	0	0	0	60	0	0	11	1 415
		電機機器	22	254	276	44	35	79	4 765	517	674	1 773	26 125
		一般機械	4	51	55	506	0	506	278	868	316	3 853	25 841
		精密機械	57	569	626	0	0	0	131	5	430	1 465	9 469
		その他	0	41	41	0	0	0	235	0	75	195	4 325
		小計	2	26	28	0	0	0	267	0	9	0	2 813
		容器・日用品	147	1 093	1 240	550	35	585	19 944	5 670	1 528	8 473	112 665
		雑貨材	0	12	12	0	0	0	1 364	0	30	99	17 365
		建築資材	20	245	265	0	0	0	18	1	7	0	5 710
土木・農水産畜産資材	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	824		
合計	167	1 350	1 517	550	35	585	21 361	5 671	1 565	8 572	136 564		
成形品	工業製品	フィルム	125	362	487	0	118	118	68	0	0	0	62 855
		シート・板・合成皮革	10	74	84	0	0	0	5 076	0	0	1	10 138
		パイプ・継手・ホース	0	163	163	0	0	0	0	0	0	0	1 269
		チューブ	18	725	743	0	2 096	2 096	365	0	0	0	11 789
延伸テープ	320	2 674	2 994	550	2 249	2 799	26 870	5 671	1 565	8 573	222 615		
輸出品	合計	0	410	410	0	138	138	272	61	51	0	28 661	
		320	3 084	3 404	550	2 387	2 937	27 142	5 732	1 616	8 573	251 276	

注) *1. 6ナイロン, 66ナイロンおよびその他ナイロン(表3参照)の計

*2. ポリフェニレンオキシド, ポリフェニレンサルファイドおよびポリアリレートの計

*3. 延伸テープ, ヤーン類, モノフィラメント, テグス, 電線被覆, フォーム, ブレンド用, 繊維・紙加工, 接着剤, 塗料, コーティング, ライニング, その他の計

表 5 我が国の FRTS (主として GRUP) 用途別出荷量*

年	分類	建設資材	住宅機材	舟艇・船舶	自動車・車	タンク・容器	工業機材	雑貨	その他	合計
48年		12 700	94 000	29 900	3 100	16 200	14 100	7 500	11 500	189 000
48年 (対前年比) (占有率)		11 000 (87) (8)	63 100 (67) (46)	23 800 (80) (18)	2 800 (90) (2)	12 300 (76) (9)	10 600 (75) (8)	5 200 (69) (4)	7 300 (63) (5)	136 100 (72) (100)
50年 (対前年比) (占有率)		11 200 (102) (9)	53 100 (84) (43)	25 600 (108) (21)	2 700 (96) (2)	11 600 (94) (9)	7 700 (73) (6)	5 500 (106) (4)	6 800 (93) (6)	124 200 (91) (100)
51年 (対前年比) (占有率)		12 880 (115) (8)	69 720 (131) (43)	36 470 (142) (22)	3 610 (134) (2)	13 780 (119) (8)	10 350 (134) (6)	5 700 (104) (4)	11 050 (163) (7)	163 570 (132) (100)
52年 (対前年比) (占有率)		12 910 (100) (7)	69 310 (99) (40)	41 080 (113) (23)	3 460 (96) (2)	17 270 (125) (10)	12 790 (124) (7)	5 450 (95) (3)	13 420 (121) (8)	175 690 (107) (100)
53年 (対前年比) (占有率)		14 550 (113) (7.1)	75 730 (109) (37.1)	53 130 (129) (26.1)	3 020 (87) (1.5)	19 960 (116) (9.8)	15 040 (118) (7.4)	7 140 (131) (3.6)	15 340 (114) (7.5)	203 910 (116) (100)
54年 (推定)		18 900	84 600	62 300	3 600	26 500	19 700	9 000	21 100	245 700

* 出荷量：対前年比，占有率：(%) (社)強化プラスチック技術協会による。

表 6 米国の FRP 用途別出荷実績と予測*

市場	1978(実績)	1979(推定)	1980(予測)
1 陸上輸送	239.4 100 26.5	247.5 103 26.9	234.9 98 26.9
2 舟艇・船舶	193.5 100 21.4	173.25 90 18.8	153.9 80 17.7
3 建築	145.35 100 16.1	150.75 104 16.4	144.0 99 16.5
4 耐食	97.2 100 10.8	107.1 110 11.6	101.7 105 11.7
5 電気	76.5 100 8.5	81.0 106 8.8	81.9 107 9.4
6 家電・事務器	55.35 100 6.1	58.5 106 6.3	58.5 106 6.7
7 一般消費	52.2 100 5.8	56.7 109 6.2	51.3 98 5.9
8 その他・特殊	33.3 100 3.7	35.55 107 3.9	34.65 104 4.0
9 航空	9.9 100 1.1	10.35 105 1.1	10.8 109 1.2
合計	902.7 100 100	920.7 102 100	871.65 97 100

* (社)強化プラスチック技術協会による。

出荷量 10 ³ t	対78年比 (%) 占有率 (%)
--------------------------	----------------------------

意しなければならないところである。

2.3 強化エンブラの特性

現在では、プラスチックの各種特性、エンブラの特長等については、すでにいろいろのデータが発表されているので、ここでは、強化エンブラしかも比較的最近実用化されているもの(ただし FRTP のみ)の特性をまとめて表7に示した³⁾。

3. 鋼からの転換

3.1 自動車と材料

3.1.1 自動車における材料構成

図 2.A はわが国の 1600 cc クラスの自動車における使用材料の重量比の 1 例を示したものであるが⁴⁾、鉄鋼が 3/4 強を占めている。しかし図 3 に見るごとく、プラスチックの使用比率は鋼板の横ばいに比べて年々漸増を続け、車種にもよるが現在では 4~6%、平均 5% を占めている⁵⁾。ある予測によると、このプラスチック化は今後もすすめられて、1990 年には 9% に達するだろうと言われている。しかし、競争をうんぬんするには、どの部位にどのようなプラスチックが使われているかが重要なのである。図 2.B は A に示したプラスチックの内訳を示したものであるが、PP(ポリプロピレン)、PU、PVC、PE、ABS の順となつている。表 8 は米国車とヨーロッパ車における数字である⁴⁾。図 2.B と表 8 を比べて特長的なのは表 8 でいずれも 4 位を占めているポリエステル(主としてガラス繊維強化不飽和ポリエステル、GRUP)

表 7 強化エンジニアリングプラスチック (FRTP のみ) の特性

樹脂マトリックス 強化材・充填材の種類と含量 (wt%)	POM		PA 6	PA 66	PC	PBT	PET	ノリル†	PPS	ポリアミド イミド	ポリサル ホン
	GF (25)	CF (20)	GF (30)	GF (30)	GF (20)	GF (30)	GF (30)	GF (30)	GF (40)	CF (30) P T F E (2)	GF (30)
比重	1.61	1.44	1.37	1.37	1.34	1.53	1.6	1.27	1.6	1.41	1.45
引張強さ (常温) kg/mm ²	13	7.6	14.7	14.0	9.8	14.0	13.0	12.0	13.7	21.0	13.0
〃 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.5(150)	—
伸び (常温) %	3	2	3.5	3	3	4	1.5	4~6	1.3	5.9	2
弾性率* (常温) kg/mm ²	880(T)	630(T)	700(B)	630(B)	525(B)	960(B)	950(B)	740(T)	1195(B)	1820(B)	1000(T)
〃 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1540(B)(150)	—
曲げ強さ (常温) kg/mm ²	19.7	11.6	18.2	18.2	11.9	20	18	14.0	20.4	32.3	16.0
〃 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22.2(150)	—
圧縮強さ (常温) kg/mm ²	—	—	13.4	14.1	10.5	13.0	12.7	—	—	—	17.0
剪断強さ (常温) kg/mm ²	—	—	7.7	7.7	6.3	—	—	—	—	12.9	—
熱変形温度 (4.6kg/cm ²) °C	166	165	—	—	—	220	—	—	—	—	190
〃 (18.6 kg/cm ²) °C	163	161	204	249	140	212	238	142	260	274	185
線膨張係数** 16-5/°C	2	2	3.2	3.8	3.2	4	2.5	2.5	1.9	1.0	2.5
〃	~	~	—	—	—	~	—	—	—	—	—
〃	8	9	—	—	—	7.5	—	—	—	—	—
出典***	①	①	②	②	②	①	① ②	①	①	①	①

樹脂マトリックス 強化材・充填材の種類と含量 (wt%)	ポリエーテル サルホン	Uポリマー†	GL†	ETFE	アブロン COP†	PF	UP		PVC	PP	PA
	GF (30)	GF (30)	GF (40)	GF (25)	GF (25)	GF (-)	BMC-GF (15)	SMC-GF (30)	GF(25) FRV†	GF(-) AZDEL†	GF(-) STX†
比重	1.6	1.44	1.52	—	1.86	1.7	1.95	1.84	1.52	1.20	1.37
引張強さ (常温) kg/mm ²	14.0	13.5	21.5	8.4	9.0	7	4	8	10	7.5	9.8
〃 (°C)	10.0(150)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
伸び (常温) %	3	2.5	9.0	8	11	—	—	—	—	—	—
弾性率* (常温) kg/mm ²	840(B)	580(B)	1300(T)	840(T)	560(B)	1500(B)	900(B)	1100(B)	600(T)	560(B)	600(T)
〃 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500(B)(82)	—
曲げ強さ (常温) kg/mm ²	19.0	13.6	30	—	—	15.0	12	18	17	15.4	16
〃 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.8(82)	—
圧縮強さ (常温) kg/mm ²	—	—	20.5	—	—	20	9	14	11	—	—
剪断強さ (常温) kg/mm ²	—	—	—	—	—	—	—	—	9	—	—
熱変形温度 (4.6kg/cm ²) °C	—	—	—	265	—	—	—	—	—	—	—
〃 (18.6 kg/cm ²) °C	216	180	163	210	230	250	200	200	160	164	200
線膨張係数** 16-5/°C	2.3	3.5	3.0	1.7	2.0	3.2	—	—	—	2.7	—
〃	—	—	—	~	~	—	—	—	—	—	—
〃	—	—	—	3.2	—	—	—	—	—	—	—
出典***	①	①	①	①	①	①	①	①	③	③	③

* (T) : 引張り, (B) : 曲げ, ** おおむね流動方向の値, ~は流動方向と直角方向との変動を示す。
***①プラスチック, 1979-9, ②機械工学便覧(6版), 5-163, ③各社カタログ等。† 商品名。

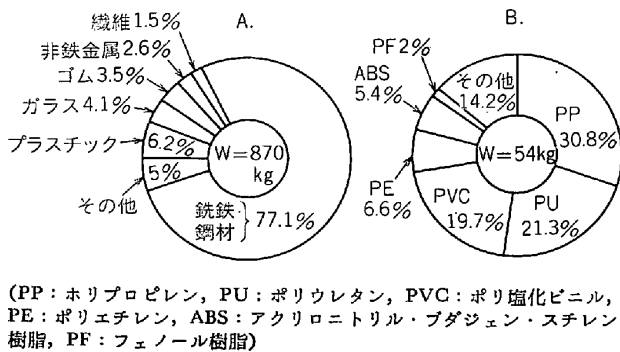


図 2 小型車 (1.6l) の材料構成

が、図 2, B のわが国のデータではその他に入っていることである。これについては 2.2 でも指摘した。図 2, B あるいは表 7 に上位を占めている PVC および PU は現在主としてシート材、クッション材として用いられて

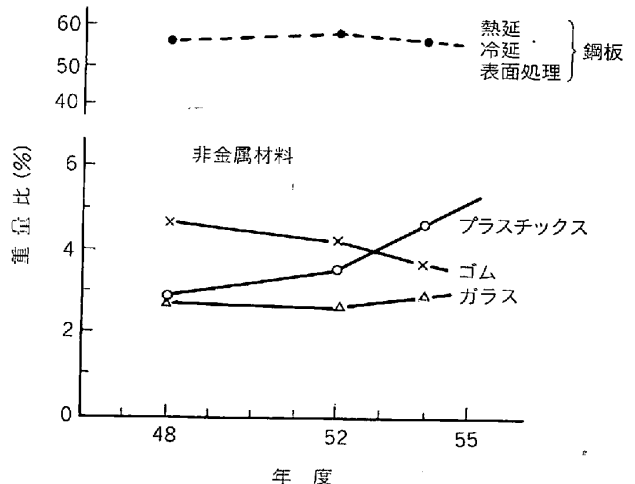


図 3 国産小型・普通乗用車原材料重量比率変化

表 8 自動車のプラスチック使用量 (1978年型)

	アメリカ (1.7 t 車)		ヨーロッパ (1.2 t 車)	
ポリ塩化ビニル	13.5 (kg)	15 (%)	15.4 (kg)	22 (%)
ポリウレタン	21.6	24	15.4	22
ポリプロピレン	15.3	17	8.4	12
ポリエステル*	14.4	16	7.7	11
A B S 樹脂	9.0	10	7.0	10
ポリアミド	3.6	4	4.2	6
メタクリル樹脂	1.8	2	2.1	3
ポリアセタール	1.8	2	2.1	3
ポリエチレン	3.6	4	2.1	3
セルロース	1.8	2	2.1	3
フェノール樹脂	1.8	2	2.1	3
PPO (ノリル)	0.9	1	0.7	1
ポリカーボネート	0.9	1	0.7	1
	90.0 (kg)	100 (%)	70.0 (kg)	100 (%)

* 主としてGRUPと思われる。

おり、エンジニアリング的用途とは言えない。PP はそれ自体は汎用プラスチックでエンブラではないが、最近では強化品として、自動車に多く用いられるようになった。例えば表4より自動車用に向けられたエンブラを樹脂別に分けてみると次のごとくなる (○内は順位) [34]

ポリアミド (非, 強)	10 253 t (24.0%)	②
ポリアセタール (非, 強)	9 340 t (21.9%)	③
ポリカーボネート (非, 強)	1 342 t (3.1%)	⑥
PET 系 (非, 強)	400 t (0.9%)	⑧
PBT (非, 強)	1 504 t (3.5%)	⑤
ふつ素樹脂 (非, 強)	150 t (0.4%)	⑨
ポリプロピレン (強)	14 208 t (33.3%)	①
ABS 樹脂 (強)	4 280 t (10.0%)	④
AS 樹脂 (強)	24 t (0.1%)	⑩
その他 (非, 強)	1 176 t (2.8%)	⑦
計	42 677 t (100%)	

3.2 転換とその理由

前述の高機能樹脂需要構造調査では、幸い各需要について樹脂化の例と、前の使用材料および転換の理由を調べているので、それより鋼からの転換例をピックアップしてまとめたのが表8である。表9には新しく採用または代替した理由を原材料費ダウンからその他まで15あげてあり、表9には欠足している項目もあるが、○印を付いたものをまとめてみると次のごとくなる。

原材料費ダウン	7 (8.1%)
成形加工組立費ダウン	28 (32.6%)
デザインの自由性	2 (2.3%)
軽量化	32 (37.2%)
機械的特性	2 (2.3%)
摩擦, 摩耗特性	1 (1.2%)
耐久性, 耐候性, 疲労性	1 (1.2%)
熱的特性	2 (2.3%)
耐薬品性, 耐腐食性	2 (2.3%)
電気的性質	1 (1.2%)

その他品質向上

8 (9.3%)

合計 (のべ)

86(100.0%)

上から分かるように、鉄鋼からエンブラ化への最大の理由は軽量化で、第2は成形加工組立費のダウンがそれに続く。金属部品のプラ化の利点の一つとして部品一体化 (parts consolidation) があげられているが、それはそのまま組立費のダウンにつながるわけである。上の整理では、原材料費のダウンがそれらに続いているが、これは恐らく成形・加工費のダウンと組み合わせて考えられているのではないかと思う。表10は鋼を基準とし、これと曲げ剛性あるいは曲げ強さ (モーメント) を同じとするような各種材料の厚さを求め、それらを基にして、各材料の比較を行つたものであるが、このような材料としての単純比較によれば、鋼からのプラ化により、

- (1) 厚くなる,
- (2) 軽くなる,
- (3) 高価になる,

ことが分かる。(1)については設計上のくふう (例えばリブを入れる等) によりカバーし、(3)は成形加工組立費のダウンによりカバーされることにより、プラ化への道は開ける。プラ化の効果として(2)が大きいことは以前からよく知られていたが、1 kg の軽量化の効果を数十万円と評価する宇宙、数万円とする航空と異なり、数百円にも評価しなかつた自動車では、軽量化による効果は、なかなか認められなかつた。しかし上述のごとく最近では自動車メーカーは軽量化を最大の理由としてエンブラを採用している。それは省エネ時代を迎えて1にのべた燃費率の向上が至上目標となり、その対象として軽量化がきわめて有効であり、その手段としてプラ化の効果が再認識されたからである。

3.3 軽量化と省エネルギー

車を軽くしたら、どれだけガソリンが節約されるか。これについてはいろいろの試算があり、その幅も広いが、1例を示そう。図4は車の重量 (kg) と燃費率 (km/l) との関係を示したものである。

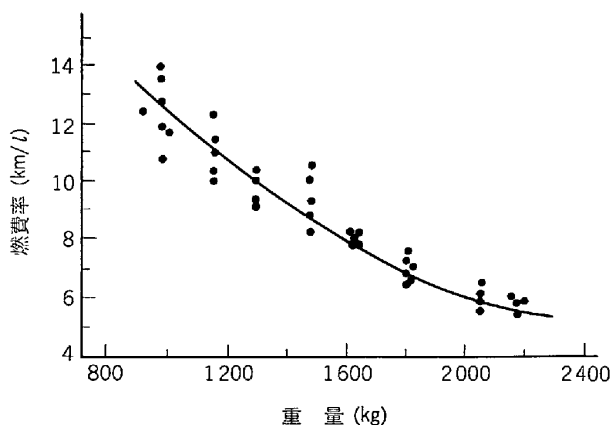


図4 1976年モデル車の重量と燃費率

車 種	使用部品、用品	強 非 化 化	使用樹脂	もとの材料	新しく採用又は代替した理由												
					原 材 料 費 ダ ウ ン	成 形 加 工 組 立 費 ダ ウ ン	ア ザ イ ン の 自 由 性	軽 量 化	難 燃 性	美 観 (透 明 性)	機 械 的 特 性	摩 擦 特 性 、 摩 耗 特 性	耐 久 性 、 耐 候 性 、 疲 勞 性	熱 的 特 性 (耐 熱 性)	耐 薬 品 性 、 耐 腐 蝕 性	電 気 的 性 質	そ の 他 品 質 向 上
トラック	ファン	○	強化ポリプロピレン	鋼 板	○	○											
	ファン	○	6ナイロン	鋼 板	○	○											
	ドライブギア	○	6ナイロン	鋼 板	○	○											
	グリルアウトレット	○	強化ポリプロピレン	鋼 板	○	○											
	カバー・チェンジレバー	○	強化ポリプロピレン	鋼 板		○					○						
	ドアロック	○	ポリアセタール	鋼 板	○	○											
	ブッシュ	○	ポリアセタール	鉄 鋼	○	○											
	スペーサー	○	6ナイロン	鉄 鋼	○	○											
バス	ファン	○	強化ポリプロピレン	鋼 板	○	○											
	吊り輪用リング	○	ポリカーボネート	ABS樹脂						○	○						
	ワイパーモーターギア	○	ポリアセタール	鉄 鋼	○	○											
	扉用止め具	○	6ナイロン	鉄 鋼							○						
二 輪	スロットル	○	ポリアセタール	鉄 鋼	○												
	ブッシュ	○	6ナイロン	鉄 鋼		○	○										

表10 各 種 材 料 の 比 較

項 目	鋼	Al 合金	ABS	PP	FRP(H)	FRP(L)	合 板
比 重 ρ	7.8	2.7	1.05	0.91	1.7	1.6	0.65
引張強さ $(\text{kg}/\text{mm}^2) \sigma_t$	28	20	5.0	3.5	20	10	5.9
曲げ強さ $(\text{kg}/\text{mm}^2) \sigma_b$	40	30	7.0	4.2	30	15	6.6
ヤング率 $(\text{kg}/\text{cm}^2) E$	21 000	7 200	280	110	1 600	1 000	1 200
価 格* $(\text{円}/\text{kg}) C$	50	530	220	150	350	250	240
曲 げ 剛 性 比	1	1 (0.52)	1 (0.18)	1 (0.15)	1 (0.12)	1. (0.21)	1. (0.85)
R_t : 厚 さ 比	1	1.43 (1.15)	4.23 (2.39)	5.78 (3.09)	2.37 (1.15)	2.77 (1.63)	4.2 (2.46)
R_{ts} : 引張荷重比	1	1.43 (0.82)	0.76 (0.43)	0.7 (0.39)	1.68 (0.82)	1 (0.58)	0.88 (0.52)
R_{bs} : 曲げモーメント比†	1	2.03 (1)	3.2 (1)	3.65 (1)	4.18 (1)	2.88 (1)	2.94 (1)
R_w : 重 量 比	1	0.51 (0.4)	0.6 (0.32)	0.7 (0.36)	0.52 (0.25)	0.58 (0.33)	0.33 (0.21)
R_c : 価 格 比	1	5.4 (4.24)	2.64 (1.41)	2.1 (1.08)	3.64 (1.75)	2.9 (1.65)	1.59 (1.01)

$D = E_t^3/12, R_t = \sqrt[3]{E_s/E_x}, R_w = R_t(\rho_x/\rho_s), R_c = R_w(C_x/C_s), R_{ts} = R_t(\sigma_{tx}/\sigma_{ts}), R_{bs} = R_t^2(\sigma_{bx}/\sigma_{bs})$
 (PP: ポリプロピレン, FRP(H), FRP(L): それぞれ高級, 並級のガラス繊維強化プラスチック)

* 原料価格 (1973年) † () は曲げモーメントを同一にした場合

が⁵⁾, この図からこれからの車の中心になると思われる重量 1200 kg 程度の車について推定してみると, 1 kg の軽量化は 0.01 km/l の燃費率の向上につながるということになる. 今このクラスの車の全走行距離を 15 万 km とし, 燃費率を 15 km/l とすれば, 1 kg の軽量化

により 15 万 km 走行中に 6.7 l のガソリンが節約されることになる. 別の試算として, 車を 10% 軽くすると燃費率は 10% 向上するというデータもあるが, これを上例にあてはめると, 0.0125 km/l となり, 約 10 l /kg の省ガソリンとなる. なお最近の発表では鋼部品の

Al 化および FRP 化による軽量化ならびに省エネルギーを次のように計算している⁹⁾。

	鋼	Al	FRP
部品重量 (lb)	13	5	6
材料・部品製造エネルギー (gal)	3	6	2
5 年間走行エネルギー (gal)	11	4	5
エネルギー合計	14	10	7

これから鋼の FRP 化により重量が 7 lb 減少し、エネルギーも走行用のみとして 6 gal、製造エネルギーを含めた合計では 7 gal 省エネルギーになるとしている。従って 1 gal/lb (8.4 l/kg) が鋼→FRP における省エネルギーの大きめの値と考えてよい (データソースが FRP 側であるので、多少のひいき目のあることを考慮した)。今ガソリンの価格を ¥ 150/l とすれば、1 kg の軽量化は、¥ 1260 の値打ちがあるということになる。これを控え目にとつて、¥ 1000/kg が軽量化の成否の一つの目安となる。最近の日米複合材料会議で鋼・GREP (ガラス繊維強化エポキシ樹脂) 混成ばねについて発表した DAUGHERTY⁷⁾ は、車 (この場合はトラック) の軽量化効果を \$2~3/lb (¥ 970~1450/kg) とのべていたから、¥ 1000/kg は一つの妥当な目安と考えられる。

サスペンションスプリングは、自動車における重要部品の FRP 化の代表として、最近内外のメーカーにおいてもつとも熱心に検討されているものである。図 5 は米国 GM 社のシボレー“コルベット”における後輪サスペンションスプリングの FRP (GREP) 化のプロジェクトである⁹⁾。報告によると図 5 の上に示す従来の鋼製 7 枚ばねを、下の GREP (EP: エポキシ樹脂) 製変厚 1 枚ばねに変えることにより、45 lb から 8 lb へと 82% の軽量化が達成され、このばねを 1981 年モデルから採用するとのべている。実は筆者らは今から 10 年以上前に乗用車のサスペンションスプリングの FRP (GREP) 化を試みている⁹⁾。その場合はダットサンプルーバード (旧型) の後輪用 3 枚ばねを変厚 1 枚ばねとしたのであるが、これにより 8.2 kg から 1.8 kg へと 78% の軽量化に成功した。しかし当時のこのばねに対する批判はコストアップで、鋼製に比べて約 1500 円高くなると予想された。しかし、現時点で考えると上述の 6.4 kg の軽量化による省ガソリンは ¥ 6400 と考えてよいから、約 ¥ 5000 のプラスとなり、十分プラ化の意義があるのである。前述の DAUGHERTY の例 (4 枚重ねばねのうち、もつとも長く目玉のあるメインリーフは鋼のままとし、他の 3 枚を GREP 化した) でも、90 lb から 40 lb へと 65% の軽量化が達成され、最近のわが国の試作例でも、8.3 kg から 2.0 kg と 76% 軽量化している¹⁰⁾、後者の例は、CF と GF のハイブリッドで作られ、リーフそのものは GF のみに比べ、さらに軽量化されるが、FRP 化のむずかしい目玉の部分の鋼としているため上記の値にとどまっている。

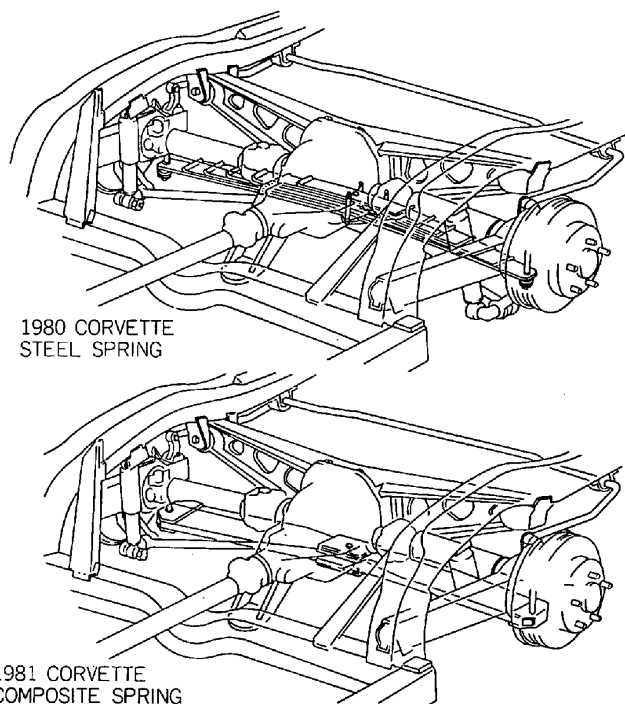


図 5

4. これからの競合

金属をプラ化する時の利点としてあげられるものは、

- (1) 軽量化できる
- (2) 部品一体化が可能
- (3) 耐薬品性、装飾性等の機能性の向上
- (4) 意匠設計の自由度 (design flexibility) の向上

などがあげられるが、前述の高機能樹脂調査における自動車の例でも、(1)、(2)、(3)がこの順で認められているが、(4)が低位であつたのは意外であつた。この中で、従来から知られていたが、その効果をプラ化の第 1 目標としてあげてくるようになったのが軽量化で、これはすでにのべたように省ガソリンの要求からである¹¹⁾。従って今後の自動車分野における鉄鋼とエンプラの競合は、軽量化の可能性とその総合効果ということになるが、自動車ではもう一つ競合要因がある。それは安全性の向上で、例えば米国では 5 mile/h の衝突で安全機能部品に損傷が無いことが要求されており (FMVSS No. 215)、そのため従来の鋼製バンパに代えて、PU あるいは PP などのプラスチックバンパを採用している車が増えつつある¹²⁾。バンパの設計あるいは採用するプラスチックとその成形方法は変わつて行くが、プラ化のすう勢は変わらないと思う。

このように、①省ガソリンのための軽量化、②部品一体化による材料、成形、加工、組立を含めたコストダウンおよび③法規制による安全性の向上を 3 つの加速要素として、今後も自動車材料におけるプラ化は進められて

行くが、その水準は、現在の5% (重量比)から、1990年までの10年間に10%に達するというのが、大きい目予想である。そして今後は、従来よりも強度要素の大きい部材、とくに外装部品への適用が検討されよう。それはこの分野が、とくに①の軽量化への効果が大きいからである。

鉄鋼と競合するような強いエンブラが、今後自動車にどのくらい伸びるか。これは予想のむずかしいところであるが、広義の強化エンブラすなわちFRTSとFRTPとの使用量が80年代の後半には10万tに達するであろうという予想がある¹³⁾。これはFRTSについては少し希望的観測をまじえた数字であるが、この中で、表2の冷延鋼板とばね鋼との和472万tと競合するのはFRTSを主とした3万tぐらいと考えられる。軽量化効果を約30%と見れば、FRTS 3万tは約4万tの鉄鋼となるから、472万tに対し1%に満たない数字である。従つて鉄鋼側としては気にしないでよい量であるが、FRP側としては全生産の2桁の%に乗る数字で大きな目標なのである。

鉄鋼120年(ベッセマーから)プラスチック60年の工業化の歴史の差を考えると、鋼は耕しつくされた技術であり、プラスチック技術はまだ未踏の高峯をたくさん持っている。その第1はリサイクルである。鉄鋼が技術的には完全に、社会的にもかなりの比率でリサイクルされているにもかかわらず、プラスチックではポリエチレン等の1部が再生利用されているにすぎず、他のプラスチックでは技術的にも未確立であり、社会的にはゼロに近い。とくにエンブラはリサイクルしにくい性格を有している。第2はプラスチックは廃品となつても、燃料として大きなエネルギーを保有しているということである。現在のプラスチックは、有害ガスや異臭の発生などでそのまま燃料として使えないが、もしこれが可能となれば石油という残り少ない資源をまずプラスチックとして、次に燃料として使うことになり、高度利用技術としてこれに過ぎるものはない。リサイクルできるか、あるいは燃料として再利用できるエンブラ——これが実用化された暁こそ、エンブラが鉄鋼の競合材料として自立す

る時であろう。

それまでの、そして現在の鉄鋼とエンブラとの関係は、互いに補完し合う所にある。鉄鋼のすぐれているのは強度であり、エンブラのすぐれているのは機能である。一方、従来ややもすれば強度と機能を分離して考えていた設計を一体化させようということが、省資源、省エネルギーの立場から強く進められている。複合材料はそれにもつともふさわしい材料であるが、その前に、エンブラの機能と、鉄鋼の強度とを補完的に活用する混成材料(compositeでなくcompoundという意味)の世界が開拓を待っていることを忘れてはならない。通産省の次世代産業基盤技術確立施策に見るごとく、80年代は材料の時代であるが、それにふさわしい言葉をあげて本稿の結びとしたい¹³⁾。

“Engineering is a combination of brains and materials, the more brains the less materials”. (Kettering)

文 献

- 1) 大沢 恂: 自動車技術, 34 (1980) 7, p. 819
- 2) 昭和53年高機能樹脂需要構造調査報告書, 昭55-5, 通産省基礎産業局
- 3) 島村昭治: プラスチックス, 30 (昭54) 9, p. 11
- 4) プラスチック実用試験ハンドブック (プラスチック標準試験方法研究会), (1981), p. 261 [工業調査会]
- 5) SAE Paper 750957 による
- 6) L. E. MORVISON: SPI, RPCI, 35 (1980-2), U. S. Status Report
- 7) R. L. DAUGHERTY: Japan-U. S. Conf, Comp. Mater., (Jan. 12-14, '81).
- 8) Chevrolet News, 1980-2-7
- 9) S. SHIMAMURA: SPI, RPCI, 25 (1970), 7-D および強化プラスチック, (1979-9)
- 10) 田辺, ほか: 自動車技術会春季講演大会(1980-5) p. 187
- 11) 日経メカニカル, (1980-3-31), p. 70
- 12) 自動車(プラスチックの市場と商品設計), (1980) p. 91 [プラスチックエージ]
- 13) 島村昭治: 自動車技術, 34 (1980) 7, p. 803