

展望

21世紀における製鉄業の新しい発展

—創資源・自己完結型製鉄所構想—

丸川雄浄

住友金属工業(株) 総合技術研究所 技監

Katsukiyo Marukawa

New Development of the Iron and Steel Industry in the 21st Century
—Concept of steel works with processes therein self completed while creating resources—

1 現状認識—21世紀へ向けての人类的課題—

1972年ローマクラブより「成長の限界」¹⁾が世に発表されて以来、四半世紀が経過した。この間その指摘、警鐘に対する対応策の動きは見られるものの大体においてかけ声だけに終わっており、本当の対策はこれからというのが実体であろう。

すなわち、ここに「21世紀における人類の最大課題」として、工学・工業、官・民の総智・総力を挙げて取り組まなければならない課題があると考え、以下に取り組みの糸口を探るための考察を試みた。

1) 資源・エネルギーの枯渇の実体

今世紀の世界の人口増加推移を見ると、1950年の25億人が1990年の40年後に倍増の52億人になっている。しかもその増加傾向は、そのまま指数関数的増加傾向を示しており、21世紀の早い時期に地球の人口は100億に達することが予測されている。資源・エネルギーの枯渇の要因の一つの源はこの人口増加の爆発にあると考えてよい。

図1に最近の世界のエネルギー消費の推移を示した。図

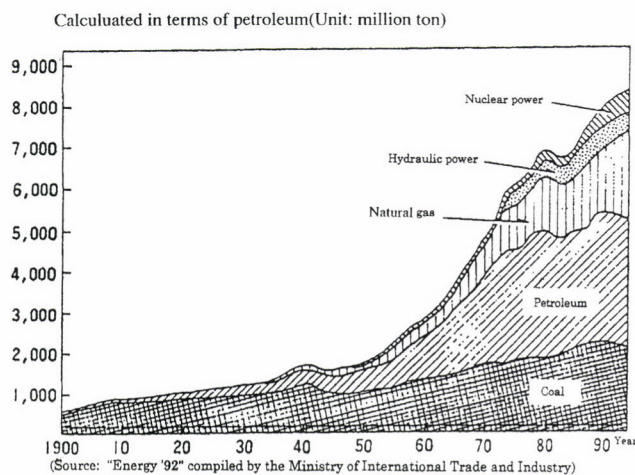


図1 Change in energy consumption in the world

2に主要金属生産量の推移を示した。これらの図より1950年以降のエネルギー消費及び資源消費の指数関数的増加傾向が見られ、これらは人口の増加と工業化の進展に比例しているものと考えられる。

表1に各金属鉱物の生産量、埋蔵量、可採年数を記載しているが、これより可採年数が100年あるいは50年を切っているものが出てきていることが判る。すなわち、地球の資源の底が見えて来ているという状況になっており、このまま指数関数的消費傾向が続けば、採掘する資源が地球上から無くなってしまうのも時間の問題であることが判る。そして今残っている資源も、次の図3に見られるように鉱石品位がだんだん低くなり、また掘り出しにくくなる状況に

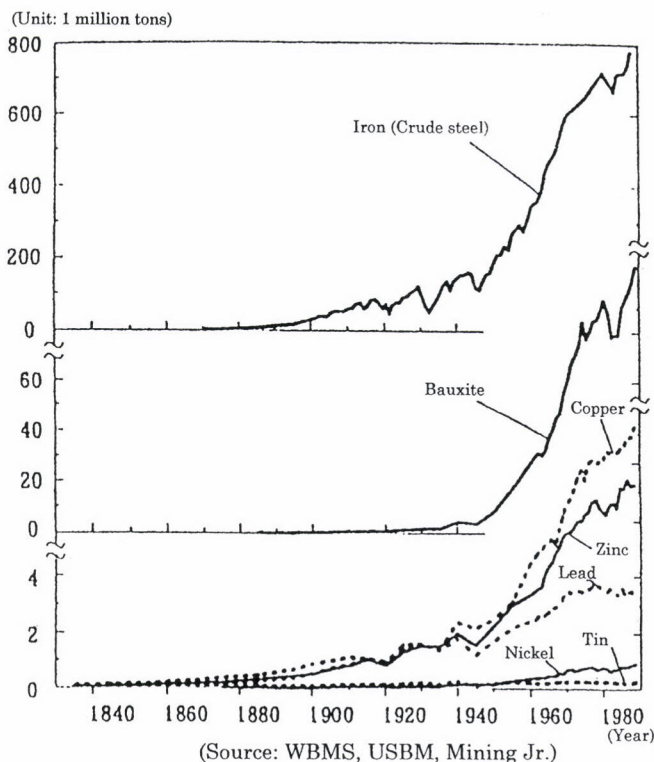


図2 Production of main metals from 1840 to 1990

表1 Production and reserves of metal ores (for 1989)

	Production (Unit: 10,000 tons)	Reserves (Unit: 10,000 tons)	Proved period of mining (Years)
Iron ore	59000	21000000	356
Bauxite	10556	2320000	220
Manganese ore	2386	353800	148
Chromium ore	1196	680000	569
Copper Ore	917.8	56600	61.7
Zinc ore	708.6	29500	41.6
Lead ore	347.6	12000	34.5
Nickel ore	87.97	10980	124.8
Tin ore	21.79	440	20.2
Molybdenum ore	11.75	1180	100.4
Antimony ore	6.11	469.5	76.8
Tungsten ore	4.32	354.5	82.1
Cobalt ore	4.25	834	196
Vanadium ore	3.05	1660	544
Silver ore	1.38	42	30.4
Lithium ore	0.45	834.6	1855
Gold ore	0.19	4.7	24.7
Platinum-group ores	0.027	6.6	244

Source: Compiled from Pages 183 and 196 of the World Census Illustration 1992-93, the Mineral Industry Handbook, 1991 edition, and other reference materials.

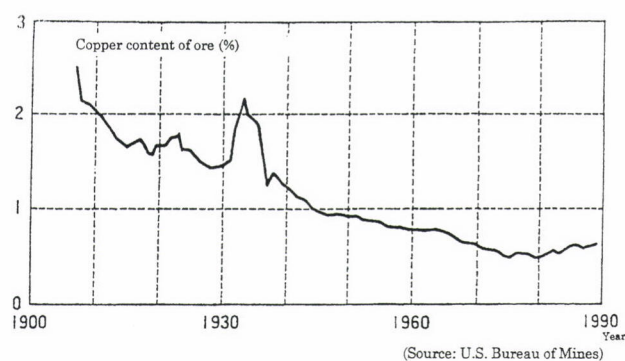


図3 Degradation in quality of copper ore mined in the U.S.A. (1906-1990)

あるということも推定できる。

金属資源のみならずエネルギー資源においても、表2に見られるように同様のことがいえ、石炭を除く化石燃料は100年以下の可採年数しかなくなっているが、これらは代替エネルギーの開発の目処が付くまで大事にセーブしながら使わなければならない。

以上のように地球の資源は破産寸前にまで来ており、次の世に残すべき地球の財産は残り少なくなってきたおり、地球の100億の人口を持続発展可能にするために、今のうちに手を打たなければならない課題を明確にし、地球規模で対応策を早急に実行して行かなければならない。

表2 Reserves of global energy resources

	Petroleum (Unit: 100 million tons)	Natural gas calculated in terms of petroleum (100 million tons)	Coal calculated in terms of petroleum (100 million tons)	Uranium (Unit: 10,000 tons)
Proved reserves				
Data 1	1350 (Year 1991)	1033 (Year 1991)	7250 (Year 1992)	
Data 2	1370 (Year 1990)	1080 (Year 1990)	5840 (Year 1990)	
Data 3	1365 (Year 1992)	1270 (Year 1992)	10390 (Year 1992)	
Data 5				200~274
Annual production	31 (Year 1990)	17 (Year 1990)	23 (Year 1990)	2.7
Proved period of mining (Years)	43.8~44.2	60.8~74.7	254~452	74~101 years
Proved ultimate reserves			(58640)	
Data 1	2025 (Year 1991)	2114 (Year 1991)	14420 (Year 1992)	
Estimated reserves				
Data 4	1930 (Year 1989)	2050 (Year 1989)	124000 (Year 1989)	
Proved ultimate period of mining (Years)	62~65	121~124	539~627	

Sources:

Data 1: Petrotech, Volume 16, No.6, P. 519

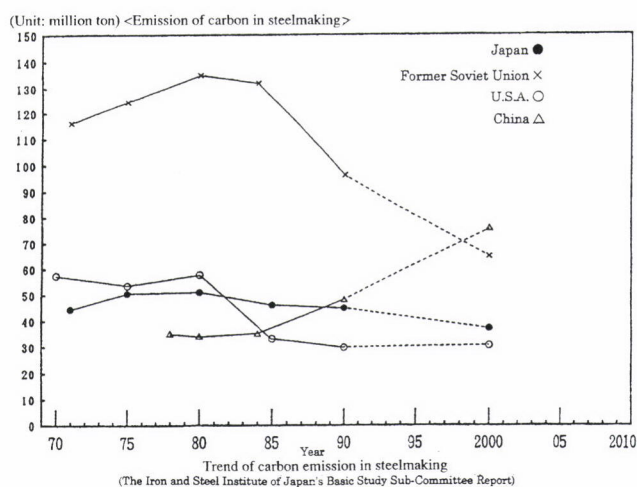
Data 2: The Japan Energy Society Journal, Vol. 72, No. 12, P. 1152

Data 3: The Handbook on Energy and Economic Statistics, the 1994 edition, P. 222

Data 4: The Fuel Association Journal, Vol. 43, No. 1, P.52

Data 5: Energy '93, P. 11, the Japan Census Illustration 1993, P. 156

Note: Natural gas and coal figures are calculated in terms of petroleum based on Data 1-4.

図4 Carbon emission from the iron and steel industry in major countries (1970-2000)²⁾

2) 地球環境の危機の実体

地球環境の問題は多方面にわたっている。一つにはフロン等によるオゾンホール拡大問題があり、酸性雨の問題があり、炭酸ガスの濃化による地球温暖化問題がある。製鉄業と特に大きな関わり合いがある炭酸ガスについて以下に見てみる。

主要各国の鉄鋼業からの炭素排出量を、図4に示す。これより旧ソ連の製鉄生産量減による排出炭素量の減少と、中国の製鉄生産量増による排出量の増加が対称的に見られ、今後の後進国における製鉄生産量の増加による排出炭

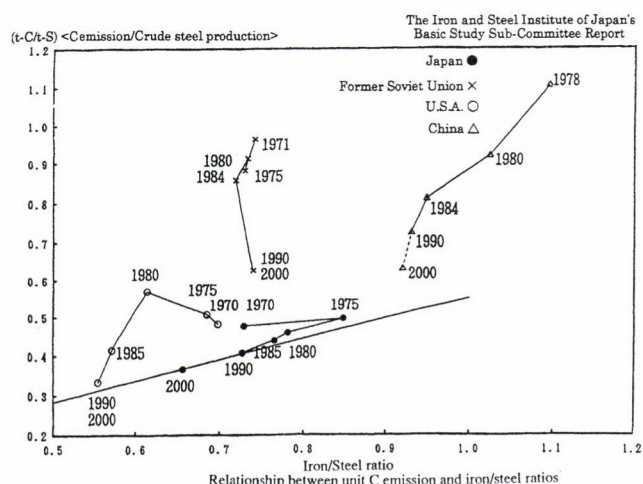


図5 Relationship between unit carbon emission and iron/steel ratio in major countries' steel industry²⁾

素量の増加は相当大きなものになることが予測され、これに対する対応策を講ずる必要がある。

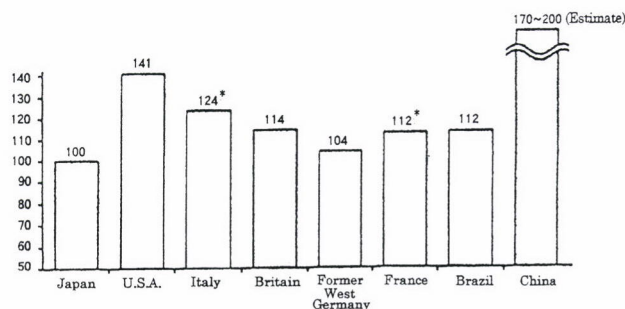
図5に、鉄鋼比と排出炭素原単位(t-C/t-S)の関係を示す。同じこの図より、先ず各国の鉄鋼比の違いがかなり大きいことが読みとれる。そして同一鉄鋼比で見ても旧ソ連、中国の製鉄製造炭素原単位がまだまだ高く、改善の余地が大きいことが判る。これはエネルギー消費原単位のちがいを暗示するものである。図6に各国のエネルギー消費原単位の比較を示す。これより、これから工業化がまだまだ伸びて行く中国等への省エネルギー技術の技術移転が、地球全体のエネルギー資源のセーブと共に環境保全のためにも極めて重要である。

このほか少し異なった観点からの問題としては、核燃料廃棄物の最終処分場の問題、都市ゴミ等の最終処分場の残余容量の問題、燃焼処分に際してのダイオキシン等の発生の問題等々が山積している。そしてこれらは減容、無害化、エネルギー及び資源の再利用の観点から、製鉄での高温反応技術、あるいは製鉄のキャパシティの活用等色々な角度からこれらの問題解決にとって、製鉄業との関わりが重要になってきていると考えられる³⁾。

2 製鉄業の課題

1) 製鉄所内での創資源・自己完結課題

製鉄所にインプットされる資源は、その量においてもまた、種類においても膨大にある。しかし、ちゃんとした商品は鉄商品だけである。すなわち、鉄以外の資源は必ずしも最高の商品にまで完成されているとはいえず、中途半端な製品あるいは産業廃棄物としてアウトプットされている。そういう観点から製鉄プロセスも未だ完結したプロセスにまで完成しているとはいえない。限られた資源でこれ



Note 1: Correction was made by iron/steel ratio.
Note 2: * is an index for 1990.

図6 Comparison of unit energy consumption cost among main steel-producing countries for 1991

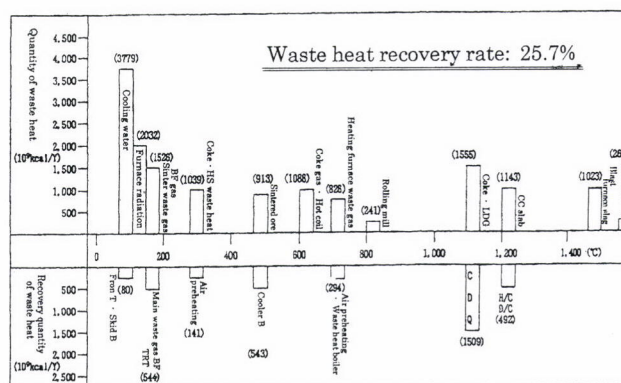


図7 Examples of waste heat recovery at steel works

から100億の人間の生命と文明を維持発展していくためには、全ての資源の不効率な、未消化な使い方があってはならない。製鉄業においても足元課題として、まだまだ研究し、技術を開発して行かねばならない課題が山積している。
(1) 事例その1 (エネルギー資源)

製鉄業はエネルギー多消費産業であり、そのエネルギー源の大部分を炭材から供給しているから、炭酸ガス多排出産業でもある。

炭酸ガス排出抑制の新しい着眼点の第1は、省エネルギーの更なる推進であるが、従来のけちけち省エネのみではなくて、新しい観点での取り組みが必要であると考え。その一つは、エクセルギー尺度(MJ/t-steel)での排熱回収の見直しである。図7に製鉄所における廃熱回収の事例を示す。4分の3は未だ未回収であるが、低温の大きな未回収の熱量とスラグ等の高温の未回収の熱量とがみられる。図8にこれらをエクセルギー換算したものを示したが、高温のスラグ保有熱の回収が重要であることがこれから汲み取れる。後述するが、エネルギーのカスケード利用の考え方からすれば図7及び図8に示す低温の大きな熱量も地域暖房等家庭用には十分使えるものであり、これからの都

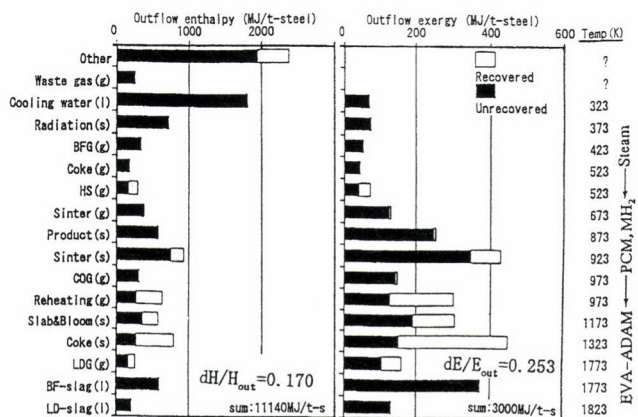


図8 Waste enthalpy and exergy in the Japanese ironworks⁴⁾

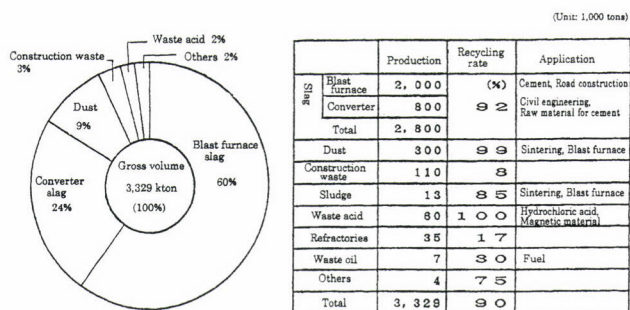


図9 Industrial wastes production and some recycling examples at steel works

市型製鉄所のあり方として、社会全体でのエネルギーセーブの観点から考えるとここにも大切な課題があると考えられる。

すなわち、高温から低温までの色々なエネルギーレベルのエネルギー商品としての正しい使い方、正しいアウトプットの仕方も課題として重要である。

(2) 事例その2 (カルシウム資源)

製鉄所におけるカルシウム資源の使用量は極めて多く、日本全体で1年間に2000万トン強の石灰石(炭酸カルシウム)を掘り出し消費している。この石灰石の大部分は焼成して生石灰(酸化カルシウム)にし、その塩基性の化学作用を利用して脱硫とか脱燐用媒溶材として使われている。図9に製鉄所におけるスラグの発生量を示しているが、カルシウムは全てこのスラグとして系外にアウトプットされている。高炉スラグは塩基度(CaO/SiO₂)が、1.3前後と低いために色々な有用な用途に使われているが、転炉スラグは塩基度が3前後と高く未だに有用な用途が確立せず、不要物として処分の対象の域を出ていないのが現状である。この転炉スラグの商品化の一つの狙いとして、ポルトランドセメントがある。表3にスラグとセメントの成分を示している。この成分比較より、転炉スラグ中の酸化鉄を除いてや

表3 Comparison of blast furnace and converter slags and cement in terms of chemical composition

	Blast furnace slag	Ordinary portland cement	Converter slag
SiO ₂	33	22	14
Al ₂ O ₃	14	5	2
FeO	0.3	3.0*	15
CaO	41	64	44
MgO	6	1	6
MnO	0.5		5
S	0.9	2	0.07

*In terms of Fe₂O₃

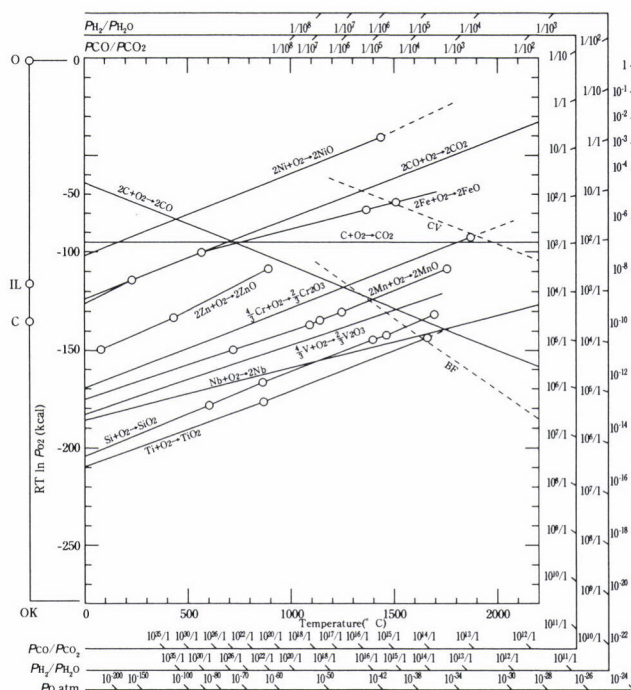


図10 $\Delta G^{\circ}=RT\ln P_{O_2}$ -temperature lines (Oxides series)

るとポルトランドセメントの組成に酷似してくることが判る。この転炉スラグから酸化鉄を除去することは製鉄の還元精錬の応用として比較的容易に可能な技術と考えられる。ここにインプットされた資源を全て有用な商品としてアウトプットするという完結化のテーマがある。

(3) 事例その3 (V、P資源)

製鉄業は還元と酸化のパイロメタラジー(高温冶金反応学)である。図10にエリンガムのダイアグラムの中にCVと書いた製鋼転炉の状態を示し、BFと書いた製鉄高炉の状態を示した。即ち、高炉の還元状態で還元され、転炉の酸化状態で酸化される反応が、この2本の点線の間に入ってくる反応である。それはクロム、マンガン、バナジウム、ニ

表4 Ore brand and ore grade

Ore brand	Ore composition		Ore grade		
	Composition rate %	Ore ratio kg/pt	Fe %	P %	V %
P.Savage	0	0	66.4	0.012	0.470
P.Algarrobo	1	15	66.2	0.056	0.210
Hammersley	30	447	64.7	0.065	0.006
Robe River	25	372	57.1	0.040	0.003
Newman	16	238	65.5	0.063	0.004
Caraïas	15	223	67.8	0.048	0.004
Bailadila	10	149	67.8	0.042	0.008
Romeral	2	30	65.6	0.077	0.460
MBR	1	15	68.2	0.027	0.006
Total	100 %	1490 kg/pt	950 kg/pt	0.55 kg/pt	0.24 kg/pt

オブ、一部シリコン、チタンも入ってくる。

表4に鉄鉱石中の燐とバナジウムの成分と高炉での実操業使用割合の例を示した。それには製鉄の還元と製鋼の酸化の課程で、図11に示すように希薄希少なバナジウム元素の濃化が生ずることを示した。

表4に燐の含有濃度を示しているが、現状では製鉄精練では燐は有害な元素で除去されるべき対象でしかない。図12に、現状製鋼精練プロセスのメタル鉄、媒溶剤、スラグのフローを示している。この方式であると燐は高タスラグ中に2%くらいにしかならないが、精練効率を上げるためには、もっともっとスラグ中の燐濃度を上げる必要がある。一方、地球資源の枯渇状況の観点から見ると、燐鉱石も岩と岩の隙間からユンボで掻き出さなければ採掘することが出来ないという段階に来ており、こういうことを考えれば、精練効率を上げるためのみならず、燐資源の観点からもスラグ中の燐の濃化は評価されるべきものと考えられる。燐鉱石代替、燐肥料原料のための濃化目標は、燐濃度で7% (P_2O_5 で15%)以上であり、製鋼スラグの有効利用の観点とあいまってスラグ中の燐濃度アップの研究や技術開発が進んでいる。

図13にその一つのアイディアである回生炉プロセスについて示した。これは現状投棄対象スラグを集めてもう一度還元と酸化を繰り返して、燐の濃化とスラグの有効活用を計るものである⁵⁾。

図14にソーダ灰を使つての燐、バナジウムの濃化回収と、媒溶剤(ソーダ灰)の循環使用という理想的な完結型オールリターンシステムを示したものである⁶⁾。これからの廃棄物ゼロ(ゼロエミッション)、すなわち資源完全利用の時代においては、こういう理想型のプロセス、システムが見直され評価される時代になるであろう。

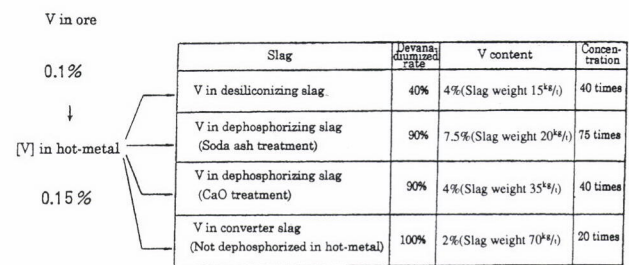


図11 Concentration of rare element during hot-metal treatment

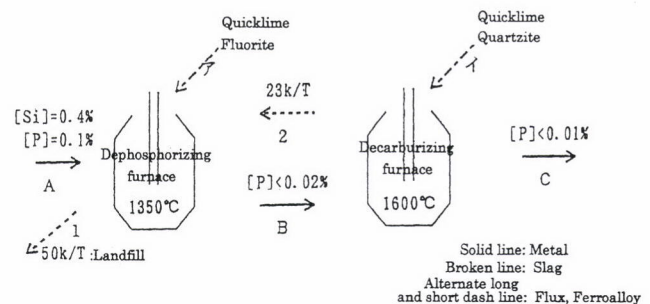


図12 Present converter refining process (SRP)

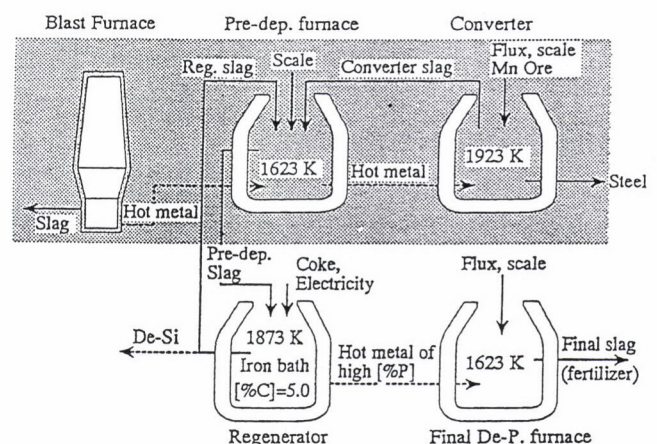


図13 Schematic flow of steelmaking slags recycling process

(4) 事例その4 (炭素資源)

炭材としては、不純な石炭、コークスを使用して、高炉の還元課程で一部溶鉄中に飽和までその炭素が溶解し、次の精練課程の転炉で高純度の酸素ガスにより脱炭され、多くの場合一酸化炭素ガスとして未燃焼でガス回収される。

この回収の時、空気との混合がなければ、理論的には極めて高純度の一酸化炭素が回収できることになる。現在までのところ、空気との混合により約10%ほどの窒素ガスが混入した一酸化炭素主体の未燃焼ガスとして回収されている。この転炉回収ガスは一酸化炭素ガスと窒素ガスとを経済的に分離することが難しいために、燃料ガスとしてしか使用されていない。すなわち、重油換算での燃料として数

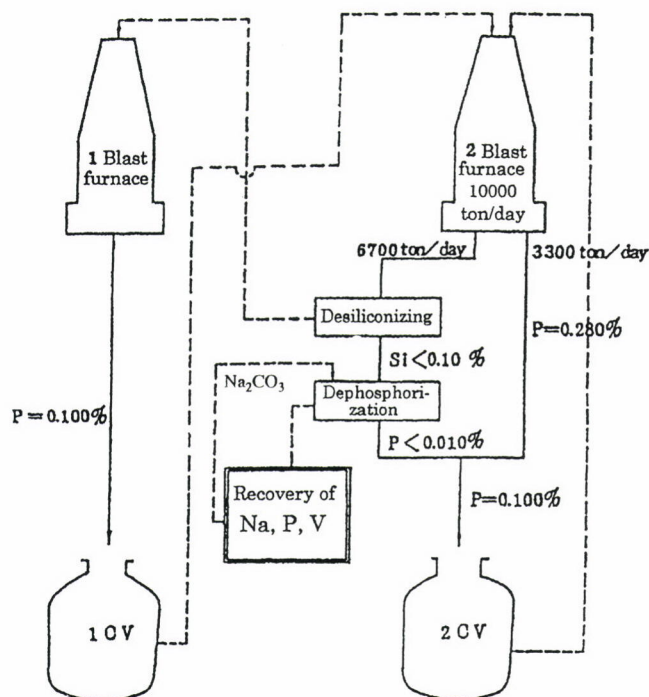


図14 Converter slag all return system

円/Nm³の評価しかされないのである。

転炉未燃焼ガス回収系が密閉構造化することが出来れば、転炉回収ガスを燃料としての評価ではなく、高純度一酸化炭素の化学用原料ガスとして、もう一桁高い評価にすることが出来る。

すなわち、高炉の還元工程と転炉の酸化課程で、鉄造りをしながら同時に、低純度の炭材から高純度の一酸化炭素ガスの製造をするプロセスとして製鉄所をより高度に完成させることになる。

もう一つの事例は、高純度の炭酸ガスの製造である。前述のカルシウム資源のところで鉄鋼業では、石灰石を2000万トン強も年間で使用していることを示したが、冶金製錬用として石灰石(CaCO₃)を焼成して生石灰(CaO)を取り出して利用しているが、石灰石には質量比で約40%もの二酸化炭素(CO₂)もその結合物として含有している。しかもその二酸化炭素は化合物として固体の中に含有されている状態で極めて高純度である。従って現在のように空気燃焼であれば窒素ガスとの混合になってしまうが、焼成方法の改善により窒素ガスとの混合が避けられれば、生石灰と同時に高純度の炭酸ガスの安価な製造方法が確立することになる。

これは、製鉄所にインプットされた資源(石灰石)を完全に利用すると同時に地球温暖化の原因になる炭酸ガス放出を抑制するということになる。

資源の完全利用は、創資源であると同時にゼロエミッションであるから、地球環境に対して最も適合する製造プ

Metal	Market Scale (index numbers)
Steel	200,000
Gold	25,000
Aluminum	20,000
Copper	17,000
Lead	4,000
Nickel	4,000
Silver	4,000
Tin	4,000
Zinc	4,000
Uranium	2,000
Molybdenum	1,500
Platinum	1,200
Cobalt	1,000
Manganese	1,000
Titanium	1,000
Magnesium	700
Chromium	500
Tungsten	500
Niobium	300
Tantalum	300
Vanadium	300

(Source: Outline of an invitational lecture for Honda Memorial Award delivered by Toshio Ikejima at the Honda Memorial Meeting in 1986)

図15 Market scale of metals

ロセスの完成に繋がるものである。

2) 社会循環における静脈系逆工場としての製鉄所の新しい任務

鉄鋼業の規模の大きさを見るために図15を示した⁷⁾。これは金額での比較であり、鉄は質量比率で最も安価であるということを考えると、物量の扱う規模、エネルギーの使用および排出量の規模等、社会を構成する業種の中でもその存在形態の大きさが、いろいろの角度から重要な働きをもたらすことが期待できる。

社会循環において、特に静脈系逆工場の整備、構築はまだ緒に就いたばかりであり、どの業種がその仕事を荷担してゆくかも見えていないのが現状であるが、製鉄業のこのキャパシティの大きさとその持っている機能を考えると、新しい都市型製鉄所としての逆工場の任務の大きさが浮かび上がってくる。

(1) 事例その1 (鉄資源)

図16に日本における鉄スクラップの流通フローを示した。鉄スクラップに関しては、従来から循環使用が模範的に進んでいた事例として考えられており、新しいシステムの構築等は不要であるが、将来的に考えると新しい課題が内包されていると考えられる。それについて表5に4点の課題を列記した。いずれも重要で難しい課題であり、企業サイドでの技術開発はもちろんのこと、工学サイドでの研究課題もこれには沢山含まれている。

(2) 事例その2 (亜鉛資源)

これは、表5の(2)項と関連することであるが、これから表面処理鋼板の大量還流の時期になってきて、亜鉛の問題は従来にも増して大きな課題になってくるであろう。図17

表5 Future issues of scrapped iron recycling

- (1) Accumulation and concentration of tramp elements
 - ・ Hot work crack due to concentration of copper
 - ・ Lowered descaling by pickling due to contamination of tramp elements
- (2) Recycling and reproduction of surface coating products
 - ・ Resources from zinc-containing iron dust
 - ・ Preventing tin contamination
- (3) Design of steel composition to facilitate alloy elements' recycling
 - ・ Elements hard to be recycled: Chromium, nickel, copper and manganese
 - ・ Elements easy to be recycled: Carbon, aluminum and silicon
- (4) Method of preventing dioxin generation in the process of melting scrap (containing scrap preheating)

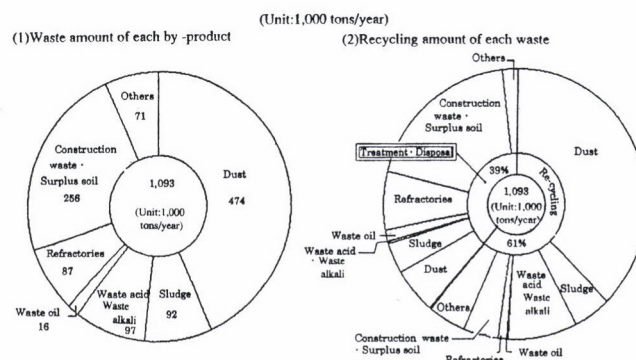


図17 Waste by-products and their recycling examples

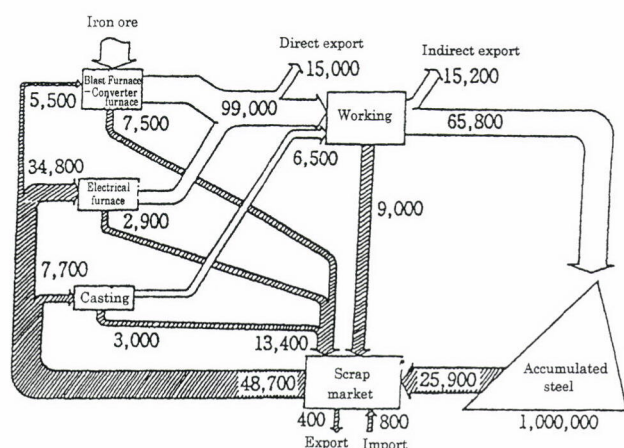


図16 Balance between steel production and scrap supply in Japan (Unit: 1,000 tons)

は、製鉄所発生のスラグを除いた副生物を示したものであるが、このダストは亜鉛含有鉄ダストであり、この処理については、日本の戦後の製鉄業の再開とともに課題として何等かの形で進んで来たものであり、そういう意味では土地感のある課題である。すなわち、従来は製鉄所内の仕事であったが、これからの資源と環境の観点から、社会全体のなかでの急増する亜鉛含有鉄ダストの有効処理のために、製鉄の今までの技術とキャパシティが活用される必然性があると考えられる。現在既に都市ごみ焼却灰も含めての減容処分プロセスの案は沢山提案されているが、資源回収の観点の薄いものは将来的には評価されにくいと考えられる。資源回収型としては、従来からのウエルツ方式のロータリーキルンがあり、住友金属鉱山の最近の改善事例の報告がある。また住友金属鹿島製鉄所の実績でも、脱亜鉛率96.9%、回収鉄中の亜鉛濃度0.2%、キルンダスト中の酸化亜鉛の濃度66%という高水準まできている。今後これらの技術が社会の静脈系に回ってきた資源回収に生かされ

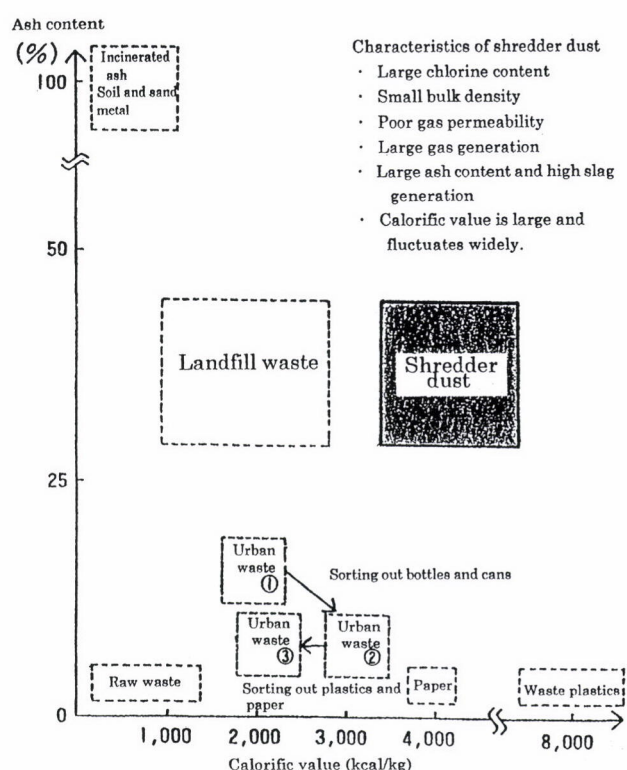


図18 Comparison between shredder dust and other wastes

る可能性は高いと考えられる。また開発段階であるが、溶融還元方式の多目的な資源リサイクルのプロセス開発も鋭意進められている。

(3) 事例その3 (エネルギー資源)

静脈系の課程に環流してくる廃棄物の中には、分子とか元素とかの資源として回収され利用されることは難しいが、エネルギーは未だ持っているというものもあり、そういうものからのエネルギーの回収は、例えばゴミ発電などが代表的なものとして挙げられ、限りあるエネルギー資源の有効活用の観点からも早急に軌道に乗せなければならない課題である。すなわち、廃棄物、ゴミは燃焼減容するという段階から、含有エネルギーの回収の段階にステップ

表6 An example of composition of waste ash

Item	Unit Item	Urban waste	Shredder dust	Landfill waste
SiO ₂	%	41.37	39.55	41.49
CaO	%	32.64	34.56	38.80
C/S	—	0.79	0.87	0.94
FeO	%	2.08	2.01	0.37
MgO	%	1.66	4.68	1.46
Zn	mg/kg	100	257	18.6
Cu	mg/kg	236	1,500	148
Cr	mg/kg	294	628	65.3
Pb	mg/kg	18.0	22.32	3.60
Cd	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01
Cl	mg/kg	56.4	62.4	77.7
As	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.05
Hg	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01

アップして取り組まなければならない。図18にシュレッダーダストとその他のエネルギー含有廃棄物を発熱量と灰分量で示した。発熱量の大きいもの少ないもの、灰分量の多いもの少ないもの等様々なゴミからエネルギーを取り出すプロセス開発が、これまた多種多様な方式で現在鋭意進められている。ここにも鉄鋼業で培ってきた高温燃焼のプロセス技術が生かされようとしている。

ゴミからエネルギーを回収するにあたっての課題は、効率よくエネルギーを回収するということの他に、図18にも見られる灰分と塩素をどう始末するか、資源化するかも課題である。表6に灰分の組成を示したが、特に重金属の回収と燃焼時に発生するダイオキシンは、環境の問題として第1条件として充分配慮したものでなければならない。

3 展望—21世紀における製鉄業の新しい発展—

1) 21世紀の製造業におけるキーワード：エコ・カスケード・エントロピー

20世紀後半の指数関数的人口増加により、21世紀における地球の持続発展が危機的状況になっていることは前述の通りであり、それは地球規模でのエネルギー・資源の枯渇、地球環境問題に集約される。

これは政治的解決で済まされるものではなく、製造業の自己改革の問題でもある。従来製造業の長期計画の前提は政治的、経済的ファクターのみでよかったが、これからは、もっと上位の前提として上記の諸問題を考慮に入れなければならない。これは、製造業にとって難しく厳しい状況になると同時に、取り組みようでは、新たなビジネスチャンスにも、新たな飛躍にもなるということである。

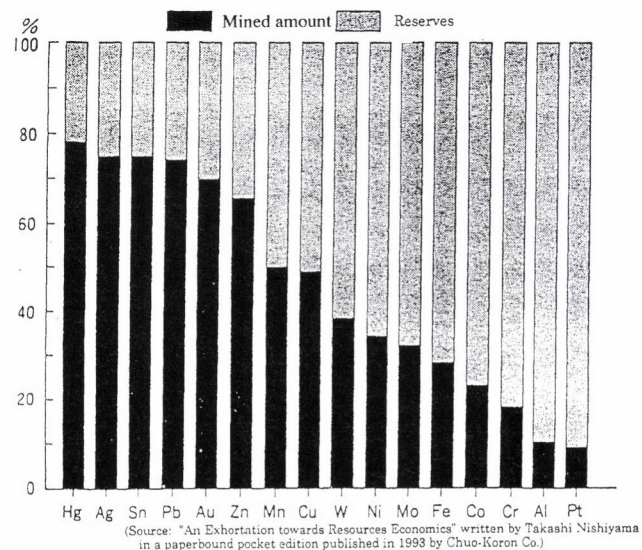


図19 Ratio of mined ore to the whole ore

(1) “エコ”について

エコとはEcology(生態学)から来たもので、循環とかりサイクルに関する事柄を意味している⁹⁾。

地球資源が鉱山から掘り出されて、製造業の手に掛かり人類の有用物として使われ都市周辺に廃棄される。

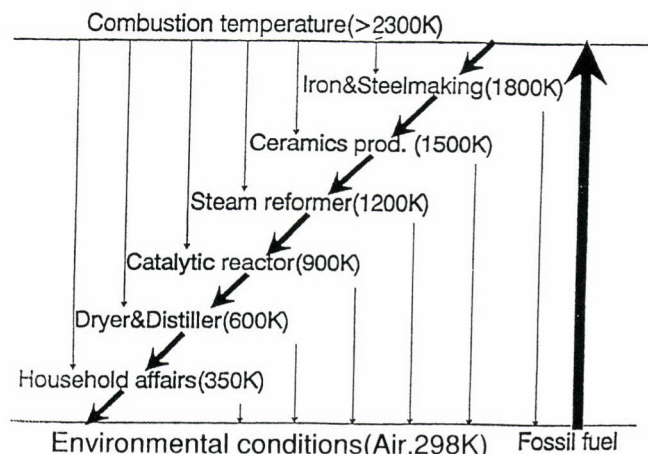
図19に示すように人類にとって有用な地球資源の内で、水銀、銀、錫、鉛、金、亜鉛、マンガン、銅は既に採掘比率が半分を超えてしまっているのである⁹⁾。自然の鉱山から半分以上無くなったものは廃棄され、都市鉱山となって眠っている。持続発展社会は資源循環無くしては考えられないのである¹⁰⁾。

これは廃棄されてから再資源化までの静脈系の逆工場の構築という課題に留まらず、従来の動脈系の正工場の製造思想の根本的見直し課題でもある。すなわち従来は、使い勝手の良さまでを考え、それを如何に安く作るかという仕事であったが、これからは再資源化するためまでの完全循環を考えた物(エコマテリアル⁹⁾)づくりに従来の動脈系の正工場を質的に変革、飛躍させなければならない。

(2) “カスケード”について

地球枯渇資源を大事に効率よく使用する方法論としてカスケード利用ということが、特にエネルギー利用においていわれている¹¹⁾。

図20にカスケードの説明を図示している。1800K以上の高温のエネルギーは製錬用に使い、少し温度が下がって1500Kでは耐火物・セラミックスの焼成に使い、更に下がって1200Kでは石灰石の焼成に使い…ずっと下がって350K以下になれば家庭用の炊事、暖房に使うというように、必要な熱エネルギーレベルに応じて高いところから低いところへ順に使って行くという考え方である。

図20 Example of the cascade use of thermal energy⁴⁾

日本の製造業では省エネルギーが随分進み、現在では頭打ちになっているくらいがあるが、このカスケードの考え方に沿って見直し、限りあるエネルギー資源を大事に使う工夫を更に向上させる必要がある。

このカスケード利用の考え方は、“もの”においても適用できる。例えば、木はまずそのまま建築用材として使い、廃材になったら乾留して吸着剤のような活性炭や様々な炭化水素の化合物の商品にする。高分子状から段々分解し低分子状で利用し、最後に燃やしてエネルギーとして利用するという利用の仕方である。

また、コークス製造過程でロダン廃液というものが発生し、現在これは燃やされて蒸気製造等の熱としてしか評価されていない。しかしこの液の主成分はチオシアン酸アンモニウムという化合物であり、鉄は溶かさずにコバルト、ニッケル、銅を溶解することの出来る特殊な化合物であり、マンガンノジュールとかコバルトクラストからの高価金属の回収に使われる可能性が高い貴重な資源である。これも資源のカスケード利用の考え方からすれば、化合物としての特性を十分発揮させてから最後に燃焼させてエネルギーとして利用するという使い方にすべきものである。

これは、次のキーワードのエントロピーにも関連する。

(3) “エントロピー”について

熱学第二法則として「エントロピー増大の法則」がある。“エントロピー”は分かり易い日本語に置き換えると“汚れの量”¹²⁾あるいはその尺度である。

自然物のままで高純度の物、自然物にエネルギーと人間の労力を加えてできた高純度の物の利用の課程で、出来るだけエントロピーを上げない利用の仕方を、製造業の物造りの中で、生活の中で、リサイクルの中で、エコマテリアルの設計の中において工夫しなければならない。すなわち、高純度状態を大事にして、カスケード的に高純度の有効性を十二分に利用しつつ、エントロピーを徐々に増大さ

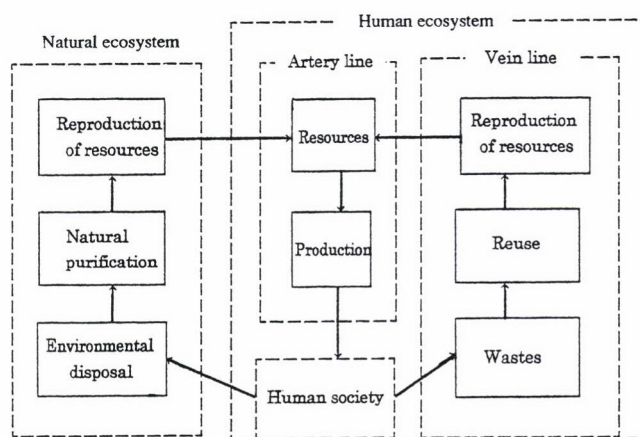


図21 Global ecosystem

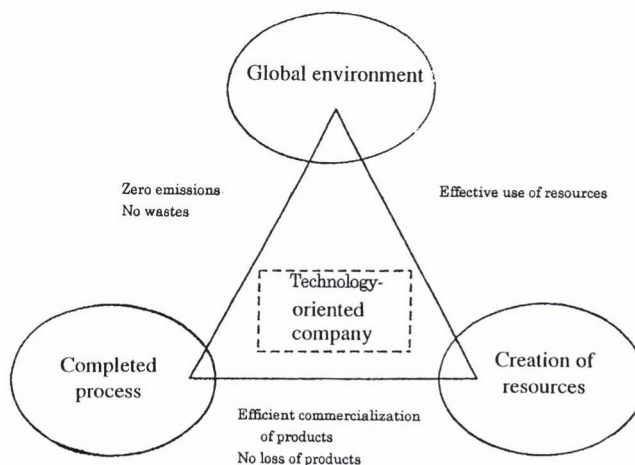


図22 Ideal manufacturing industry in the coming era

せて(汚して)行くやり方である。エントロピーの尺度で地球人類の全ての活動を見直し構築し直す仕事は、21世紀を持続発展社会へ向けて進めるために大きな意味をもたらすであろう。

2) 持続発展可能社会への任務とビジネスチャンス

地球を一つの生体として捉えたときに、図21に示すように動脈と静脈のはたらきがバランスして循環することが生き続けて行くために必要になってくる。これは、次の図22に示すように、一つは枯渇する資源を循環利用するため必要である。もう一つは地球環境の保全のために廃棄するものを無くする観点から必要になってくるのである。そしてそれを可能にするのが、製造プロセスの完成・完結であり、社会全体の循環の完成・完結である。そしてその暁に初めて持続発展可能な地球社会の展望が開けてくる¹³⁾。

すなわち、持続発展可能な社会への製鉄所に科せられた社会的・地球的任務を考えると、広義の新しい「都市型

製鉄所」のイメージが明確になってくる。それは鉄鋼材料の供給はもちろんのこと、地域冷暖房等生活エネルギー供給基地として、また使用済み資源・エネルギーの静脈系逆工場として、廃棄物無害化終末処分プロセスとして、単に場所として都市との関係が密接になるというだけでなく、新しい機能を持ってその存在が無ければならないものになってくるのである。

日本の鉄鋼業はその生産量が1億トンで頭打ちになり、成長はもちろんの事、斜陽産業になるというように考えられている向きもあるが、いままで述べてきたように、一つは製鉄プロセスの完成に向けての、自己完結製鉄所に向けての環鉄新事業の新たなビジネスの発展が拓けてくるであろう。そしてもう一つは、静脈系逆工場の任務を荷担していく方向での新しいビジネスの展開が拓けてくることである。

持続発展可能社会実現のためには、新しい時代に向けてのメタテクニカ・エコエティカ (Metatechnica Ecoethica)¹⁴⁾のような理念・哲学の確立と普及が必要であるが、そして同時に、実際にこれを実現させ機能させて行くためには、その必要な機能と働きが、ビジネスとして成り立たなければ実業の社会は進展しない。ビジネスとして成り立たせるためには企業努力ももちろん必要であるが、法の整備も必要であるし、この新しい課題に対する基礎工学の進展と諸工学の多面的な新しい結合が不可欠である。

従来の動脈系正工場の質的変革と新たな静脈系逆工場の創業を成し遂げ、持続発展可能社会を確立するために、これを導き支える哲学と工学の新しい発展を官、学、民の総知、総力の結集で進めなければならない。

引用文献

- 1) D. H. メドウズ他：成長の限界，ダイヤモンド社
- 2) 鉄鋼協会基礎研究会：炭酸ガス抑制と製鉄プロセスの未来，(1993) 7.

- 3) 地球温暖化問題ハンドブック，小宮山宏監修，アイシーピー
- 4) 秋山友宏，八木順一郎：鉄と鋼，82 (1996)，179.
- 5) 徳田昌則，水渡英昭，李宏杰：学振第19委反応プロセス研究会，H.6.9.27
- 6) 丸川雄浄：東北大学工学部博士論文，(1982) 7月
- 7) 池島俊雄：日本金属学会本田記念賞講演概要，(1986)
- 8) 山本良一：エコマテリアル革命，徳間書店
- 9) 西山孝：資源経済学のすすめ，中公新書
- 10) リサイクル工学，鈴木胖編，エネルギー・資源学会
- 11) 秋山友宏，八木順一郎：鉄と鋼，82 (1996)，177
- 12) 槌田敦：エントロピーとエコロジー，ダイヤモンド社
- 13) 丸川雄浄：人間・社会と新しい調和を求めて— 4，日本鉄鋼協会第133回秋季講演大会
- 14) T. Imamiti and J. Sato : Metatechnica Forum in Tokyo, (1994,1995,1996)

参考文献

1. ジム・マクニール他：持続可能な成長の政治経済学，ダイヤモンド社
2. 環境庁地球環境経済研究会：地球環境の政治経済学，ダイヤモンド社
3. 日興リサーチセンタ：環境ビジネス最前線，工業調査会出版
4. 環境ビジネス，日経産業新聞社編
5. ベネッセコーポレーション：地球の未来を守るために
6. ワイゼッカー：地球環境政策，有斐閣
7. 小西誠一：地球の破産，講談社
8. 小野晋也，新藤勇治：地球環境ビジネス読本，オーム社
9. 馬場猛夫：いま地球の財産を診る，教育出版センター
(1997年10月27日受付)