

サステナビリティと鉄

地球環境の維持・保全の重要性が全世界の共通認識となっている。そのキーワードのひとつが「サステナビリティ」である。10年後、50年後と年月がたっても、地球環境が守られ、豊かな生活や社会を維持できるかどうかは、現代を生きる私たちの行動に左右されるといっても過言ではない。サステナブル・デベロップメントを具現化していくため、現在行われている取り組みをご紹介します。



早稲田大学・尾島研究室
の「完全リサイクル住宅」
(福岡・北九州市)(提供:尾島研究室)

環境保護と経済発展の両立を目指す

1987年、国際連合の「環境と開発に関する世界委員会」(通称「ブルントランド委員会」)は、報告書「われら共有の未来(原題:Our Common Future)」の中で、「サステナブル・デベロップメント(Sustainable Development)」つまり持続可能な発展の概念を発表した。そして、サステナブル・デベロップメントとは「来るべき世代が我々と同様の水準の生活を享受するために十分なだけの資源を残すこと」であると定義している。

実は、「サステナブル・デベロップメント」に似た概念が初めて登場したのは、環境問題が国境を越えて世界共通の課題と

して登場した1970年代だった。1972年の国連人間環境会議では、中心的なテーマとして「環境と開発の両立」が取り上げられた。1974年には 国連環境計画と国連貿易開発会議の共催による国際会議で「われわれの世界は、人類の将来的な福利と生存が危険にさらされるほど、地球上の有限資源を消費したり、生命維持システムを汚染することなく、将来の世代のニーズを考慮するまでの視野が必要であること」と「永続的発展、開発」の基本理念が提示された。このような流れの背景には、環境問題への取り組みは貧困と国際的不平等などの問題をも取り込んだ広い視野なくしては成り立たない、という問題意識が次第に高まっていたことがあった。

BRE (英国建築研究所) による、鉄を使った完全リサイクル建築の例
(提供:野城智也氏)



IFDプロジェクト(オランダ)によるサステナブル・ビルディングの例。この住宅では構造材、内装材などほとんどの材料に鉄が使われた(提供:野城智也氏)



さて、ブルントランド委員会の報告書を契機に、新しい概念であるサステナブル・デベロップメントが知られるようになり、1992年の国連環境開発会議(通称「地球サミット」)では、サステナブル・デベロップメントが合言葉のように広く使用された。そしてその度合いを表現する言葉として、「サステナビリティ(Sustainability、持続可能性)」が次第に使われるようになった。

サステナブル・デベロップメントの定義は、ブルントランド委員会報告書以外でも検討されている。たとえば1987年の国際自然保護連合においては、「基盤となるエコシステムの許容能力以内で生活するという前提条件の下で、人間の生活の質を改善させるための発展」と定義されている。この言葉は、これまでこの例以外にも、多くの解釈が示されているが、「現在の経済発展を否定することなく、地球環境保護と調和させていく」という姿勢は、どの定義にも共通している。

ところで最近では、地球環境保護のキーワードとして「エコロジー」がよく使われている。エコロジーとは本来、生物と環境との関係などを研究する「生態学」の意味であるが、これが思想的にも発展して、自然の生態系を保護することや悪影響を与えないことを指して「地球にやさしい」と表現するようになった。これに対し「サステナビリティ」は、人間社会や経済活動などを考慮し、今後長期間にわたって実現可能な物や活動を包括的に含んだ、環境配慮度を表わす言葉として使用されている。

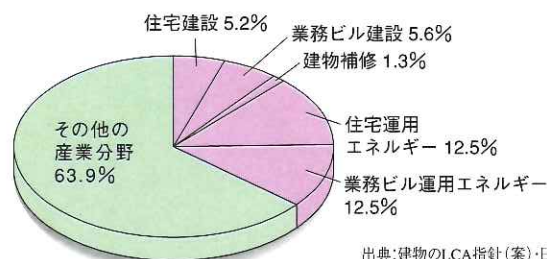
そして、サステナブル・デベロップメントを推進する取り組みとして、サステナブル・デザインやエコマテリアルなどの研究が進められている。

建築分野のサステナビリティを高める試み

建築分野では、サステナビリティを追求する研究が世界各国で進んでいる。1988年に設置された「気候変動に関する政府間パネル」において、全世界のCO₂排出量の目標値が提示されたのを受け、1997年の気候変動枠組条約第3回締約国会合(通称「京都会議」)では、先進国全体の温室効果ガス排出量を2008年から2012年の期間において1990年に比べて5.2%削減するという数値目標が合意された。

日本におけるCO₂排出量の内訳を見ると、すべての建造物の建築資材製造から建設、改修、運用までの建築関連で、日本全体の総排出量の約3分の1を占めると推計される。したがって、この分野でCO₂排出量を減らすことが、地球温暖化対策として大きな意味を持つ。そこで日本建築学会は1997年に「今後のわが国の建築物は生涯二酸化炭素排出量(LCCO₂: Life Cycle CO₂)を30%削減、耐用年数3倍延伸(100年)を目

■建築関連CO₂の排出量の割合(1990年)



出典:建物のLCA指針(案)・日本建築学会

指すべき」とする声明を発表した。

具体的には、現状の汎用技術で経済的に十分達成可能な対策として、「1998年度以降、建築運用に伴う床面積あたりのエネルギー消費量を、すべての新築工事で30%削減、すべての改修工事で15%削減、新築建物では耐用年数を現状の3倍(約100年)に伸ばし、資材製造時のCO₂排出量が少ないエコマテリアルを徹底的に採用する」というシナリオを想定した。この対策が1998年度からすべての新築・改修工事に盛り込まれ、電力のCO₂原単位が2010年時点で1990年比20%削減が達成できた場合には、建築関連CO₂排出量は2008から2012年度には6%削減され、2050年度には約40%レベルにまで削減されるとの推計結果が得られている。

さて、サステナビリティを高めた建築、いわゆる「サステナブル・ビルディング(Sustainable Building)」とは、どのようなものだろうか。日本建築学会・地球環境委員会のサステナブル・ビルディング小委員会主査の東京大学生産技術研究所教授野城智也氏は、こう説明する。

「そもそも建築をすること自体がサステナビリティを損なうことであり、持続可能な建築という言葉自体が矛盾をはらんでいるとも言われる。そこで、サステナブル・ビルディングとは、持続可能性を損なう度合いを抑制した建築である、と考えられる」

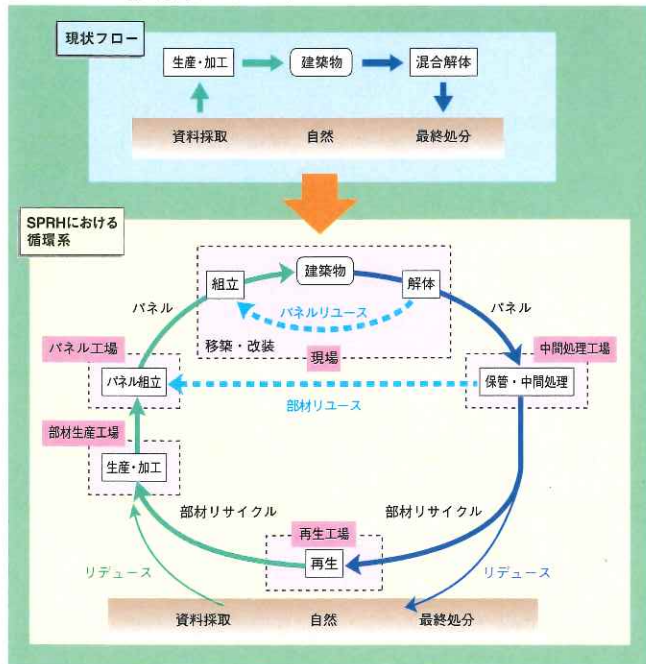
最近では、建築物のサステナビリティ評価システムが各国で発表されており、対象となる建築物の地球環境問題と資源利用、地球環境問題、室内環境問題などの項目について点数を

*原文「development which improves the quality of human life while living within the carrying capacity of supporting eco-systems」

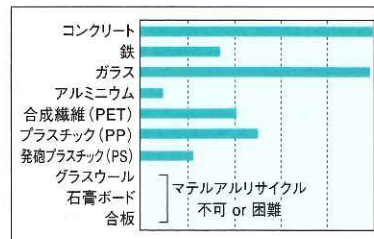
鉄骨構造による完全リサイクル住宅「SPRH」



■SPRHの循環系のイメージ



■新規材に対するリサイクル材の製造時CO2排出割合



1階、2階の南西の縁側は自然換気の機能を持つ。夏には床下から冷気を取り入れ、室内の空気、熱を屋根に逃がす



構造躯体の丸柱10本が建てられたところ。必要部材はあらかじめ工場で取り付けられ、現場溶接は一切ない



工事の2階部分。ここにモジュール化したパネルが嵌め込まれる

付け評価されているが、各国で事情が異なるなどの理由から国際的な評価システムはまだ確立していない。

一方で、サステナブル・ビルディングの実証実験は盛んに行われており、日本の場合、重力換気塔やソーラーパネルなどの設備を備えた建物が建設されている。

このように、サステナビリティとは、たとえばCO₂排出量削減というような単一の指標で評価できるものではなく、さまざまな角度からの包括的な取り組みによって、向上できるものだといえるだろう。

構造材料や工法を工夫した「完全リサイクル住宅」

早稲田大学理工学部建築学科・尾島俊雄研究室では、日本学術振興会の未来開拓学術研究推進事業として、1997年から「完全リサイクル住宅プロジェクト（正式研究名：低環境負荷・資源循環型居住システムの社会工学的実験研究）」を推進した。住宅解体時のリサイクル率は10%以下だといわれるが、「完全リサイクル住宅」はリサイクル率を80%以上に高めることを目標とし、木造と鉄骨造の2棟の実験住宅について設計、建築、解体、再築を行った。

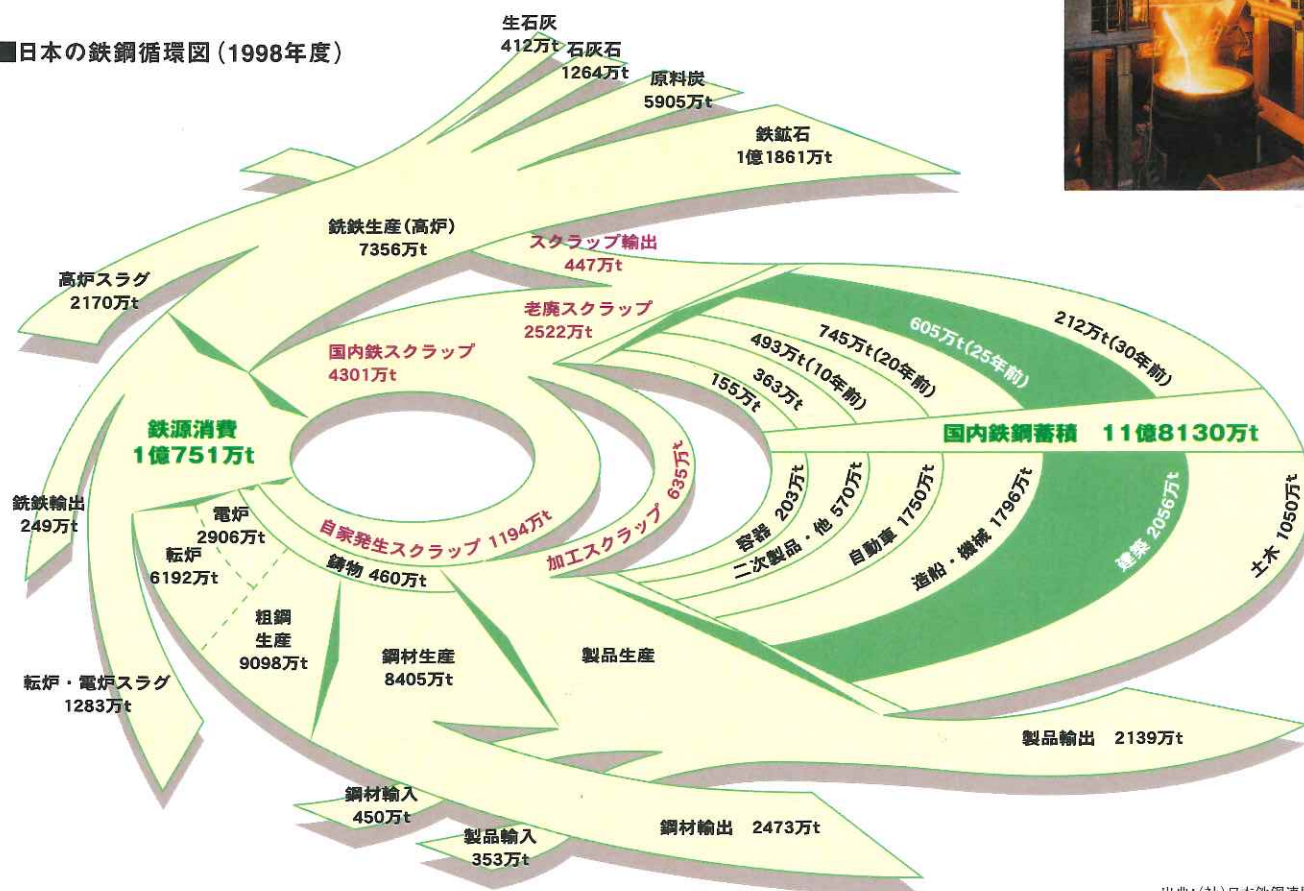
鉄骨造の実験住宅はSPRH (Steel Perfect Recycle House) と呼ばれ、材料の循環系の構築を目指した。そのため、使用する資源量を削減するような素材選定を行い、構造躯体に重量鉄骨、基礎に完全リサイクルコンクリート、外装材にガラス、内装材に合成樹脂を使用した。また、部材のリユース、リサイクル率向上のため、現場組み立て、現場解体の容易なSI (サポート・インフィル) 住宅とし、そのために内外装のパネル化工法が開発された。

躯体の重量鉄骨は、軽量鉄骨や薄板鋼板に比べ部材数を少なくでき、分別しやすいことから採用され、その形状は太径 (216.3mm) の丸柱とし、その数を減らしスパンを大きくとる。これにより、長寿命に伴うライフスタイルの変化に対応し自由なプランニングが可能となる。現場での溶接はいっさいなく、必要な場合のみ工場溶接している。重量鉄骨はメンテナンスを考慮して、風雨にさらされない壁の内側に配置され、柱下部には免振装置が設置されている。

外装、内装はモジュール化されたパネルにより構成され、施工性を高めている。接合部は解体可能であることを考慮し簡素な形態で、高力ボルトの採用による接合の簡略化、カートリッジ化を図っている。

このように細部にいたるまで完全リサイクルを目指した結果、

■日本の鉄鋼循環図(1998年度)



出典: (社)日本鉄鋼連盟資料

SPRH再築後の材料リユース率は98%を達成した。

「完全リサイクル住宅」の研究は、日本建築学会・地球環境委員会の「LCCO₂30%削減、耐用年数3倍延伸(100年寿命)をめざす建築設計」の2001年度設計競技(技術部門)で住宅部門優秀賞を受賞した。

新時代のエコマテリアルへの期待

建築をはじめ多くの分野で大量に使用されている鉄は、エコマテリアルとして大きく期待されている。これは、コンクリート、木材、プラスチックなどの素材と違い、各種の防錆技術の適用により耐食性を高められるなどの理由によるものである。実際に鉄鋼材料が使用された後、資源としての循環性を見ても、平均して90%以上がスクラップとして回収されており、国内の鉄源消費の約4割に当たる4千万トン以上がスクラップによってまかなわれている。また、鉄鋼材料は建築をはじめとするさまざまな形で社会に存在しており、その蓄積量は約12億トンに達している。スクラップ利用にとってこれは貴重な資源である。広く知られているように、電炉メーカーでは鉄スクラップを原料とし、高い技術で高品質な製品を作り出している。その量は、年間

約3千万トンであり、粗鋼生産の3分の1を占めている。

鉄スクラップだけでなく、製鉄時の副産物ともいえるスラグは、これまで、おもに路盤材やセメント代替製品などへの再利用が行われてきた。いっそうのスラグの有効利用を目指しているのが「スラグ利用プレハブ構造材」研究会(日本鉄鋼協会社会鉄鋼工学会内)である。これは、セメントの用途を代替するだけでなく、スラグをプレハブ構造材などの新しい用途に使用する技術を研究し、都市基盤整備に貢献することを目的としている。

「これからの時代には、新しく作るだけでなく、循環させることで高い付加価値が生まれるような、ビジネスモデルが多く登場するだろう。確かに鉄はエコマテリアルだが、材料としての鉄だけでなく、材料に付帯する機能や性能をビジネスにするように変化していくのではないか」(野城智也氏・前出)

サステナビリティで対象となるのは、地球環境だけでなく、私たちの生活・社会のレベルの維持も重要である。鉄は、耐久性、リサイクル性などの特徴を生かしていくことに加え、さらに高い付加価値を持つ材料として、新しい時代が求める地球環境の維持・保全と経済発展の調和に貢献していくことが期待される。

取材協力

日本建築学会、東京大学生産技術研究所・野城智也教授、
早稲田大学理工学部建築学科・尾島俊雄研究室、合同製鉄(株)

鉄の資源循環利用に貢献する 「リサイクル鉄の超鉄鋼化」プロジェクト

鉄スクラップをリサイクルしようとするれば、まずスクラップを徹底的に選別、分別して、できるかぎり混入物が少なく、純度の高い材料に再生するのが常道である。逆に、混じってくる不純物を積極的に利用して、再生材を高性能化しようというのが「リサイクル鉄の超鉄鋼化」プロジェクトである。

従来の2倍の高強度化を目指した「超鉄鋼」

独立行政法人物質・材料研究機構では、平成9(1997)年度から「超鉄鋼材料」プロジェクト(略称STX-21)の研究を進めてきた。

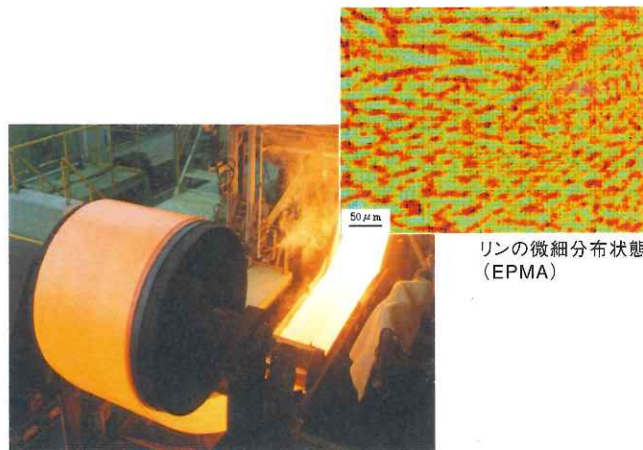
超鉄鋼プロジェクトとは、「従来の強度2倍」「従来の寿命2倍以上」の鉄鋼材料の実現を目指しており、このうち「高強度化研究」では、具体的には、溶接で構造体を作成可能な、引張り強さ800MPa級の厚板用鋼板の開発を目標とした。

鉄鋼材料を高強度化する手法には、固溶強化、化合物の分散・析出強化、相変態強化、結晶粒微細化による強化、加工硬化による強化、の5つがある。このうち、リサイクル性や使い勝手などを考慮し、結晶粒微細化により高強度化を図ることを試みた。結晶粒径は鋼材の加熱温度と加工条件(加工量、歪みなど)によって制御できると考え、広範な条件で実験を行った。その結果、600~650℃で何回かに分けて歪み2以上の圧下を与えると、結晶粒径1 μ m程度の超微細粒化が実現する可能性があることがわかった。最終的には、結晶粒径0.5 μ m以下までを達成することができた。

微細粒になった不純物のはたらき

鉄鋼材料の中に含まれるリンは、靱性低下の原因となる。物質・材料研究機構の材料研究所・材料創製研究グループの長井寿氏らは、「超鉄鋼材料」プロジェクトの実験を応用し、結晶粒径1 μ m程度の超微細粒にしてリンを添加してみた。

まず、材料を溶かしてから速い冷却速度で固めるとき細かい凝固組織ができて、高濃度のリン集積部がより微細に分布することに着目し、急冷凝固を用いて、リンの量が従来の10倍以上の板材を製作した。この板材を調べると、リンが微細に分散していることがわかった。従来のような脆さや割れはほとんど現れず、しかも強度、伸びともに改善されるという、新しい現象も発見された。これは、微細粒化で粒界面積が格段に広くなり、リン集積部が微細に分布することによると思われる。



ストリップ鋳片創製試験では従来よりリンを10倍以上含む板材を急冷凝固で作成

リンの微細分布状態
(EPMA)

逆転の発想で、鉄を社会に生かす

この成果は、2000年から開始された「リサイクル鉄の超鉄鋼化」プロジェクトに引き継がれた。

鉄スクラップ中にあるリンや硫黄などの成分は、不純物と考えられ、従来はこれを除去して再生利用してきた。しかしこれらを除去するには、廃棄物の発生や、エネルギーの消費が避けて通れない。長井氏らは、これを解決するために、結晶粒微細化のノウハウが生かせないかと考えた。

たとえばマンガン硫黄化合物の粒子径が5 μ m以上になると、疲労強度が落ちる。先の実験で行ったように、急冷凝固で微細組織の素材を製作し、さらに加工することにより、1 μ m以下の粒子径も期待される。

「1 μ m以下というのは、結晶粒径より小さく、組織内の析出物より大きい。この大きさの組織を、微細複相組織と呼んでいる。1 μ mの壁を破れば、今までにない性質を期待できる」(長井氏)

このアイデアで、他の介在物の微細化なども今後研究を進めていくという。

「欧米では、リサイクル材の用途が広く、電気製品の筐体には既に利用しており、電磁鋼板への利用も視野に入れている。再生材の用途を広げ、さらに再生材を使いやすい流通システムができると、リサイクル鉄の用途はさらに広がるだろう」(長井氏)

最新の結晶粒微細化技術を応用したこの研究は、鉄の資源を社会に生かすものと、さらに今後の可能性が注目される。