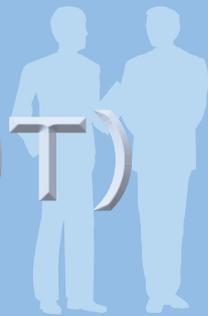


# 建設業の技術経営 (MOT)



## 第11章 循環型社会と建設業

藤盛 紀明

芝浦工業大学大学院 工学マネジメント研究科 客員教授  
FT テクノロジー 代表

### 1 | 都市鉱山の雄：同和鉱業（現DOWAホールディングス）との出会い

筆者の本籍地は秋田県大館市花岡町で、同和鉱業花岡鉱山のあった所である（図1）。先祖は平泉藤原氏と鎌倉幕府の戦い（奥州合戦）の一旦として甲斐の国から花岡に来たと言う（当時は藤森）。筆者の花岡町時代は銅鉱石採掘・精錬を事業としていた同和鉱業の最盛期で、日本全国から鉱山勤務の人々が集まってきていた。中学校は1学年6クラス、1クラス50人以上、全校生徒約1,000人規模の大所帯であった。友人の多くは鉱山勤務の子供であった。鉱脈を探って至る所が採掘され、鉱山従業員住宅の宅地までもが陥没するなど、環境問題が次第にクローズアップされるようになった。

環境問題と鉱脈の枯渇などで花岡鉱山は縮小の方向となった。同和鉱業は早くからこれらの環境問題への対応を迫られ、技術開発を行っていた。結果としては、この他産業に先んじて対応して来た（せざるを得なかった）環境技術が今日の「都市鉱山の雄、DOWAホールディングス」を生みだすコア技術となった。今、故郷に帰ると、かつての鉱山施設の廃墟が見られる。鉱山勤務者の長屋が所狭しと立ち並んでいたところは無人地帯となっている（図2）。一方、使い古した近代電気製品のリサイクル会社（都市鉱山）が活発に活動している。花岡と並んで著名鉱山であった隣町の同和鉱業小坂鉱山はもっと顕著な変革を起こしている。（図3, 4）

筆者の現在の住居は千葉県船橋市であるが、新居建設当時、目の前は大きな広場であった。そこで子供と遊び、犬を散歩させた。偶然であるが、そこは同和鉱業の社員住宅予定地で、今は同和の社宅が立ち並んでいる。

超電導技術が一生を風靡していた時期、筆者は超電導技術開発部長を拝命した。病院の脳波測定室を開発するために銅で磁気シールドルームを作るため、同和鉱業の研究所と共同研究開発を行った。当時、同和鉱業の研究者からは建物を解体した時に有用金属が出ないかと問われたことがある。今思えば、この当時から同和鉱業は新しい事業を模



図1 同和鉱業花岡鉱山（秋田県大館市花岡町）

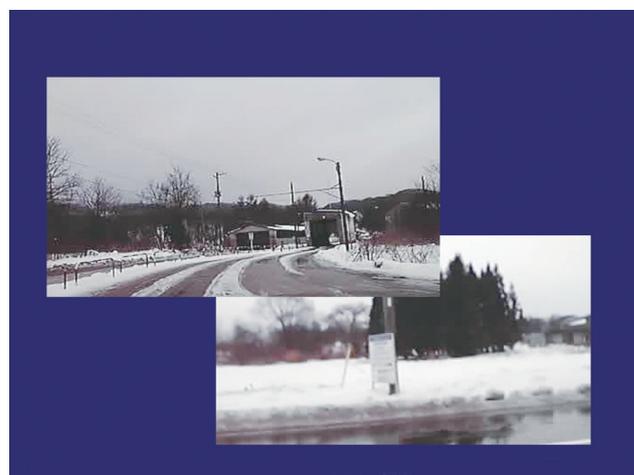


図2 鉱山従業員の長屋があった跡

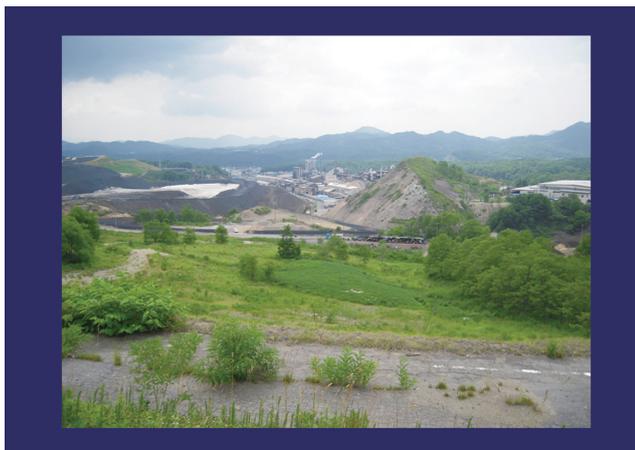


図3 緑が蘇って来た小坂鉱山



図4 鉱山廃墟と都市鉱山精錬施設

索していたのであろう。試行錯誤・トライエンドエラーを重ねながら、同和鉱業は携帯電話、パソコン、電気製品などの都市ゴミから有用金属を採取する会社に生まれ変わっている。

筆者は企業を退任後、人生の課題として故郷、秋田県の支援を決断した。そのために「秋田産業サポータークラブ」(図5)を県に提案し、幹事に就任した。この会の初代会長にはDOWAホールディングス代表取締役会長の吉川廣和氏が就任した。当初、幹事として一緒に活動した山田征雄氏が現在、DOWAホールディングス社長に就任している。次に述べるDOWAの都市鉱山ビジネス関連情報は当時、山田氏より拝借した資料などを中心にまとめたものである。

## 2 | 循環型社会に新しいビジネスを見出したDOWA ホールディングスの繁栄

DOWAホールディングスの始まりは明治2 (1884) 年であるが、明治17 (1899) 年、藤田伝三郎 (藤田組) が政府から小坂鉱山の払下げを受けたことから、銀・銅鉱山事業を開始した。以後、花岡鉱山、柵原鉱山を買収し、昭和20 (1945) 年に同和鉱業に改称した。

小坂鉱山、花岡鉱山の銅鉱石は黒鉱 (図6) と呼ばれるもので、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石、テトラヘドライト、黄銅鉱 (図6) などである。そのため亜鉛、鉛、銅、金、銀といった、さまざまな金属が採れる「金属のデパート」と呼ばれるものである。従って、これらの複合された金属の塊から銅を取り出すことが必要であった。銀の採取を主としていた同和鉱業は当初、これらの複雑な鉱石を分けることができず、同和鉱業は存亡の危機にひんした。しかし、ついに黒鉱の精錬技術を確立し日本有数の銅企業に成長した。この複雑な鉱石を精錬する技術こそが同和鉱業が世界有数の「都市鉱山」会社に変身する基本となった。

日本の銅利用は弥生時代に遡る。良く知られているもの

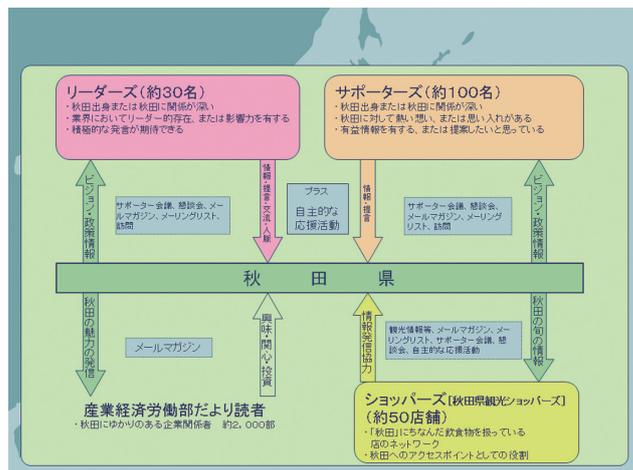


図5 秋田産業サポータークラブのイメージ

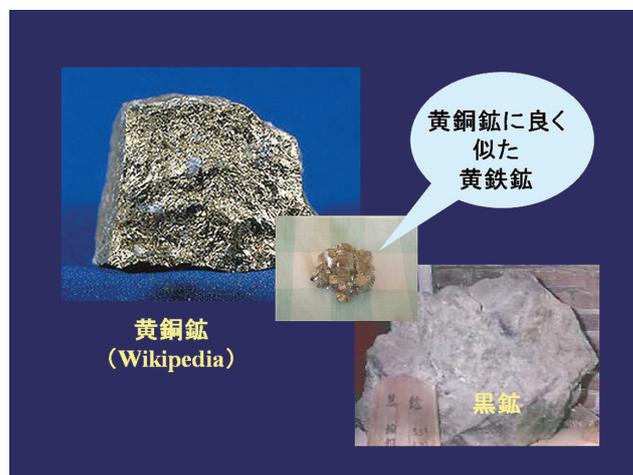


図6 黒鉱・黄銅鉱

に銅鐸がある(図7)。原料は中国・朝鮮からのもので日本では鑄造を行っていた。日本で銅鉱石に関する文献の初見は文武天皇(飛鳥時代683-707)時代である。文武天皇の第一皇子・聖武天皇(701-756)は東大寺の大仏の鑄造に約1,000tの銅を使用したと言われ(大仏の銅重量は約500t)、この時代には日本列島ではかなりの銅が産出していた。銅が鉱業として発展するのは江戸時代で、足尾銅山(1610)、尾去沢銅山(1666, 図8)、別子銅山(1690)が次々と発見された。

大阪において事業を起した藤田伝三郎の藤田組は、明治17(1884)年、明治政府から小坂銅山を払い下げられた。小坂銅山は江戸時代には南部藩の銀銅山で、明治政府となって銀・銅を採掘する官営の銅山となり、1901年には銀の生産が日本一となった。小坂銅山周辺の銅石は黒銅と言う本来、銅を多く含む銅石で銀含有量は次第に減少し危機に直面した。小坂銅山には日本近代製鉄の父と言われる大島高任が南部藩時代から関わり、開発計画を推進してきた。大島は黒銅の洗練についても検討し、明治4年の岩倉具視欧米視察団に加わって新精錬法を知った。黒銅処理に悩んでいた小坂銅山は以後、外国人らを採用して研究開発を続けた。明治29(1896)年、オーストラリアの酸化精錬法を知り、独自の改良を加えて苦心の末、明治32(1899)年に黒銅の独自精錬技術に成功した。

この精錬技術は一石三鳥の方法で、黒銅から金と銀を容易に分離できる方法であった。1902年、小坂銅山黒銅自溶精錬の操業を開始し、銅・鉛・亜鉛・金・銀の生産が主流となった。明治23(1891)年当時の日本の銅生産は古河銅業(7,712t)、住友銅山(1,831t)、三菱銅業(994t)、藤田組(80t)と藤田組の銅生産量は少なく第4位であったが、大正8(1919)年の藤田組の生産額は古河(17,849t)に次ぐ10,826tで第2位となった。栃木県の足尾、愛媛県の別子と並んで秋田の小坂は日本三大銅山となった。

小坂銅山の開発した黒銅の新しい独自精錬技術が金・銀分離にも有効であったことが今日の都市銅山から貴金属を分離する事業の基本になった。

藤田組は大正になり小坂の近くの花岡銅山を、さらには岡山の柵原銅山を買収し、昭和20(1945)年、同和銅業株式会社と商号を変更し、筆者の小中学校当時(1950年代)は同和銅業の小坂銅山、花岡銅山は最盛期であった。その後、軍需による乱屈で枯渇し、外部から銅石を買って操業していたが、昭和34(1959)年に小坂の内の岱、昭和38年に花岡の松峰に新たな黒銅鉱床が発見され、しばらくは活況を継続していた。

この間の昭和36(1961)年に現在の同和の環境事業の先駆けとなる光和精銅株式会社を設立している。新たな銅床



図7 出雲の加茂岩倉遺跡(弥生時代)から発掘された銅鐸

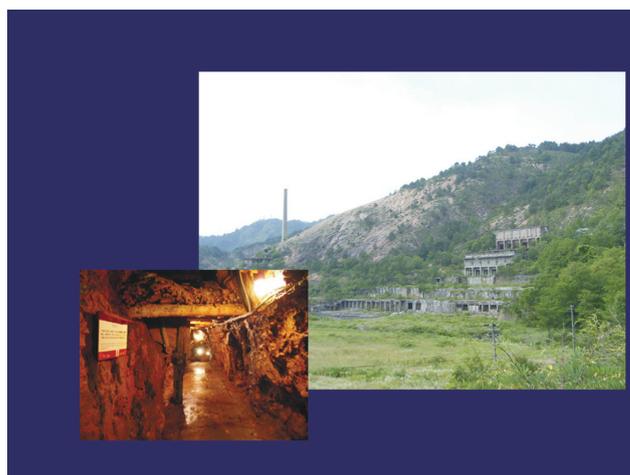


図8 廃銅となった尾去沢銅山跡

**ビジネスの展開～ 黎明期～**

**銅山縮小**  
**施設・技術を活用し、**  
**廃棄物処理・環境エンジニアリング事業化!**

- S52 (1977) 柵原銅山合理化→中間処理会社設立(岡山磁油礦)
- S61 (1986) 環境エンジニアリング事業開始(廃水処理・排煙脱硫装置他)
- S61 (1986) 花岡地区に最終処分場開設(花岡銅業(株))
- S62 (1987) 花岡地区に中間処理会社(同和クリーンテックス(株))設立
- S63 (1988) 収集・運搬、営業会社(テクノクリーン(株))設立

図9 同和銅業の環境ビジネスの展開～黎明期～



が発見されたとはいえ、それまでの資源枯渇による苦勞、将来の国内資源枯渇を見据えた先見性のある経営判断であった。現在の株主は新日本製鉄50%、DOWAエコシステム50%である。設立の目的は硫化鉄鉱石を原料に①硫酸と高炉用ペレット生産②有価金属（金、銀、銅、亜鉛、鉛など）の回収で、同和鉱業の確立した精錬技術による環境に優しいビジネス第1号であった。

昭和49 (1974) 年、オイルショックが起こり、世界経済・日本経済はマイナス成長となり銅の需要も激減した。昭和48年に1,202千tあった銅需要が昭和49年には881千tになった。これを契機に同和鉱業は鉱山事業を縮小し、環境ビジネスへと大きく舵を切っていく。同和鉱業の環境ビジネスの黎明期であった。(図9)

昭和52 (1977) 年に岡山の柵原鉱山を整理縮小し、中間処理会社「岡山鉱油株式会社 (現エコシステム山陽)」を設立した。処理困難な産業廃棄物などを鉱山の精錬技術を活用して中間処理する会社である。昭和60 (1985) 年、ブラザ合意がなされ、円高が急激に進み、日本経済は不況となり銅需要も減退した。鉱山縮小と代替事業の模索のスピードを加速し、中間処理事業拡大のために昭和61年には花岡鉱業 (現エコシステム花岡)、昭和62年には同和クリーンテックス秋田 (現エコシステム秋田)、昭和63年にはテクノクリーン株式会社 (現エコシステムジャパン) を相次いで設立した。

平成3 (1991) 年、企業多角化の一環として環境事業をコア事業とするべく環境事業本部を立ち上げた。H6 (1994) 年には全ての鉱山を閉鎖した。

同和鉱業は三次にわたる事業構造改革を実施した (図10)。その基本方針は選択と集中、筋肉質な体力、4コアビジネスの設定であった。その結果、2006年10月1日にホールディングカンパニー制に移行し、環境・リサイクル事業は会社の重要な柱となり、この分野を担当する会社はDOWAエコシステム株式会社となった。図11、図12は同和鉱業時代の資料であるが、現在でもこのような内容で行われている。DOWAのエコビジネスは図13に示す同和鉱業時代の銅事業とその技術の有する特徴が見事に生かされている。

筆者の知る、この事業改革を実施した経営者、吉川廣和は思い切った発想、発言を行い、実現に向けて着実に実行する人物である。DOWAは銅事業の将来不安、クローズアップされつつある環境に対応するために早い時期から歴代の経営トップが対応を積み重ねてきており、吉川の時代に大きく華を咲かせたと言える。

秋田県は、DOWAホールディングスのエコ事業を中心に秋田県の北部分について「県北部エコタウン事業」として県の重要戦略に位置づけている。



図10 同和鉱業の事業改革の歴史

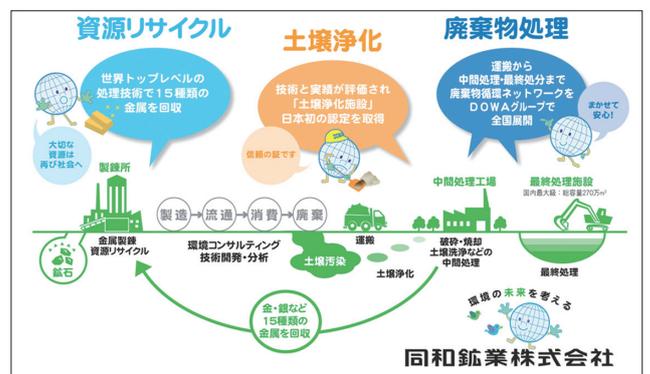


図11 DOWAの環境リサイクル事業概要 (DOWAホールディングス提供)

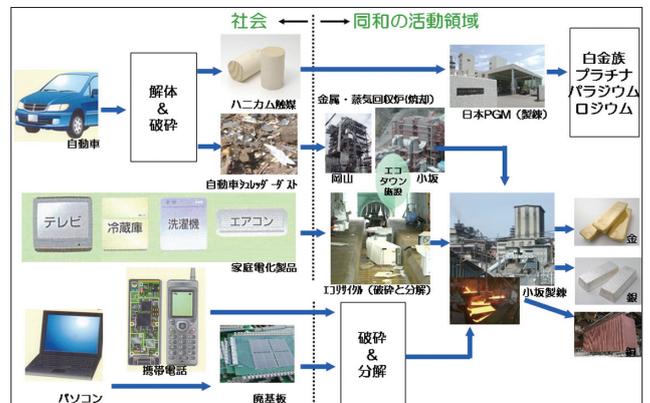


図12 資源リサイクルの流れ (DOWAホールディングス提供)

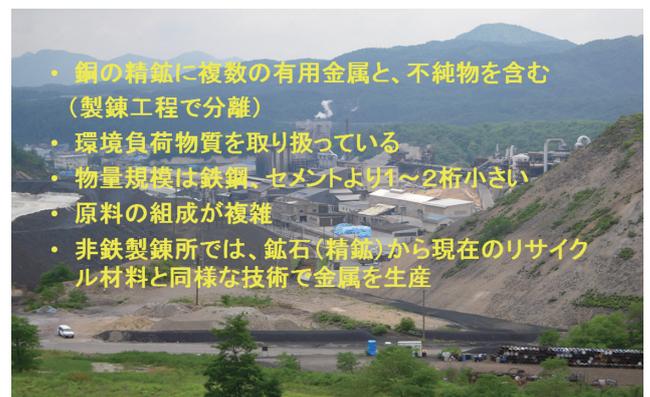


図13 同和鉱業時代の銅事業の特徴

DOWAの「都市鉱山事業」は今や世界的に有名になり、見学者があふれる毎日である。都市ゴミの精錬工程を見た後に金の延べ棒を持たせてもらった時には誰でも大変びっくりし、あらためて都市鉱山ビジネスの重要性を体感する(図14)。

同和鉱業・DOWAの時代に先駆けたエコ事業成功の鍵は何であったであろうか。その要素を以下にまとめてみる。

1. 黒鉱精錬という複雑鉱石を処理するために、いち早く海外技術を探求し、さらにそれに独自の技術開発を付け加え、他に真似のできないレベルに育て上げた。その固有・独自技術が「都市鉱山」事業のコアとなった。
2. 鉱山事業につきものの水・土壌汚染対策に早くから対応し、環境の時代の有力な技術を保有していた。
3. 鉱山業時代の施設(精錬施設・キルン・掘削穴・廃棄物処理施設など)が有害廃棄物の処理に活用できた。
4. 鉱山は鉱脈が尽きると事業の終焉となる。そのような危機に何度も直面し、常に新事業分野を考え出さねばならない企業環境にあった。
5. 鉱山事業は発足当時から多くの経営課題(労働問題、財務問題、海外対応)を抱えてきた。金属企業であり冶金・機械など工学系社員優位である環境にもかかわらず、優秀な事務系社員の育つ環境があった。DOWAホールディングスの現吉川会長、山田社長共にそのような荒波にもまれて育った優秀な事務系人材である。

DOWAホールディングスは環境事業を海外に広げている(図15)。現在の課題は多くの企業が都市ゴミビジネスに進出し始めていることである。中国など海外企業もこの分野に参入し始めており、都市鉱山の資源も枯渇する可能性がある。今後の経営者の手腕に注目しておきたい。

### 3 | 富士フィルムのケース

商品のリユースで最も見事であった企業は、インスタントカメラ「写るんです」で一世を風靡した富士フィルムである。

日本の化学産業は国際的にみれば規模が小さく国家戦略の組み立てが必要であった。化学産業は結集してそのための組織として財団法人化学技術戦略推進機構(JCII)を1998年に設立した。この組織は財団法人高分子素材センターを改組したもので、新たに戦略組織部を立ち上げた。筆者はこのJCIIの総合戦略委員会に参画を依頼された(図16)。この委員会に富士写真フィルムの研究開発担当役員が入っていた。この委員会の人選はなかなかで、東大の小宮山教授、東工大の相澤教授はその後、各自の所属大学の学長に就任している。

この委員会では「写るんです」の循環再生工場の見学を



図14 廃棄物から金の延棒を採る(秋田県庁展示を撮影)



図15 同和ホールディングスの海外への事業戦略

委員会名簿(◎:委員長 ○:副委員長 \* :顧問)

武井 克守:セイコーエプソン ◎瀬田 重敏:旭化成工業  
 宮下 悟:セイコーエプソン ○干鯛 眞信:東京大学 丹羽 絃一:富士通研究所 相澤 益男:東京工業大学 尾崎 光男:富士通研究所 雨宮 肇:旭硝子 藤盛 紀明:清水建設 伊丹 敬之:一橋大学 中辻 照幸:清水建設 小野田 武:三菱化学 高木 文夫:大日本印刷 小宮山 宏:東京大学 宮田 満:日立 工 山中 晤郎:三菱電機 土屋 隆海 宮 菱電機 林 淳:富士写真フィルム 順亮:花王 横田 実:日本電気 和田 啓輔:三菱化学 村橋 俊一:大日本印刷 和田 啓輔:三菱化学

Japan Chemical Innovation Center

図16 JCII 総合戦略委員会



行った。実に見事な循環再生ですべての部品が分解され、再利用されていた。

ところが時代はデジタルカメラへと移った。折角の世界一の循環再生システムも必要性が薄れつつある。しかし、この循環再生のシステムは設計・生産・販売・流通・回収・分解組立のすべてのチェーンを含有しており、今後の循環再生システムの基本となるものである。富士フィルムではこのシステムの全容と運用時の諸問題について是非、報告書として公開を期待する。

富士フィルムは企業戦略も興味深く参考になる。フィルム事業の需要低下を見込んで早くから新しい事業戦略を展開してきたことである。フィルム製造のコア技術である化学合成・ナノテクノロジーなどを活用して機能性化粧品・サプリメントなどのライフケア事業に参入し、富山化学工業を子会社化(図17)して医薬品事業にも参入した。いずれも自社のコア技術を活用した新事業で、DOWAホールディングスと同様な戦略である。現在は「第二の創業期」と位置付けて富士ゼロックスと富士フィルムを合体し「富士フィルムホールディングス」を設置し、さらに進化を続け、組織を変革続けている(図18)。コア事業は高性能材料、メディカルシステム・ライフサイエンス、ドキュメント、グラフィックシステム、光学デバイスの5つにしている。

フィルム事業時代のコア技術を活用し、M&Aを含めて企業組織を大改革し、焦点を絞った事業分野でビジネスを行う戦略も見事である。

#### 4 | 循環型社会の足音

環境問題は古代から始まっていた。燃料としての木材の消費による森林消滅、家畜飼育による砂漠化、銅・鉄生産による木材消費加速による大規模生態系破壊などである。産業革命では木材に代わり石炭が使用され、排ガス、排水が大きな問題となった。古来より循環型社会を形成してきた日本でも明治維新政府による富国強兵策の産業育成が環境問題を引き起こした。DOWAの記述で記載したように、銅鉱山の鉱毒事件は早くから始まり、足尾銅山の事件は有名である。産業が発達し都市に人口が集中すると生活廃棄物などの都市ゴミが大量に発生した。有害物資を含有する産業廃棄物、汚泥、空気汚染などが急速に拡大した。

そのため、平成6(1994)年には環境基本法、環境基本計画が完全施行となった。さらに循環型社会形成基本法、廃棄物処理法・資源有効促進法が制定され、平成14(2002)年には建設資材リサイクル法が制定された。これにより建設工事の受注者は建築物の分別解体、建設廃材等の再資源化が義務付けられた。(図19)

建設行為は個別建物から街、都市、国さらには国境を越え



図17 新戦略発表(日経新聞 2008年2月13日)

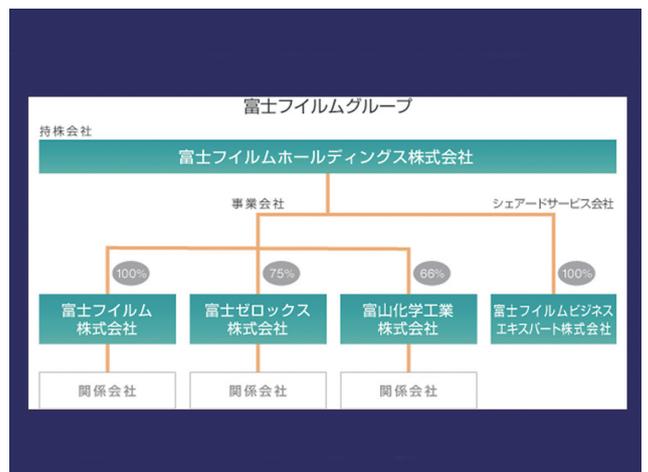


図18 富士フィルムの企業再編(富士フィルムホールディングスHP)

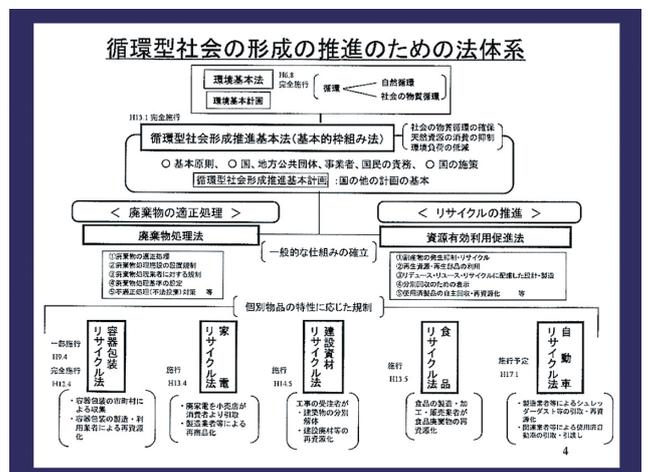


図19 循環型社会のための法律(内閣府HP)



図20 建設業と地球環境問題

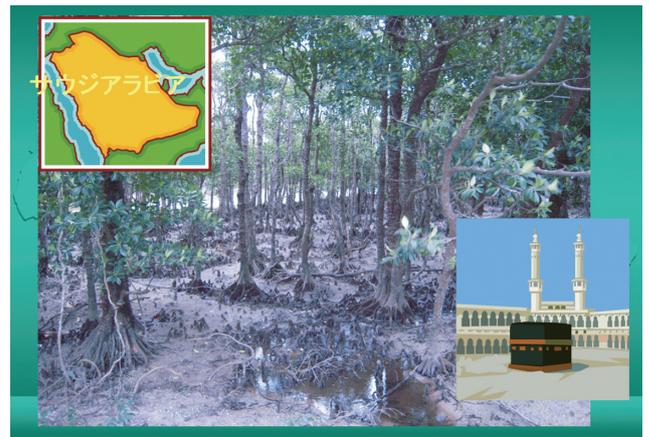


図21 CO<sub>2</sub>対策のためにサウジアラビア海岸へのマングローブ植林

での活動である。自然への挑戦であり自然改変・環境破壊の一因となっている。従って、建設業の環境対策への取り組み範囲は自ら直接関与するものから地球規模のものまでも入ってくる(図20)。筆者自身もサウジアラビアの海岸にマングローブを植林する(図21)ことや砂漠のオアシスの植物育成状況を衛星から監視する方法、荒地(arid land)に植物を育成するための植物遺伝子組み換えなどを担当したことがある。汚染された湾の浄化のために米国の著名な海洋研究所、カリフォルニア州サンディエゴ大学のSCRIPS海洋研究所、マサチューセッツ州ケープコッドにあるWoods Hole海洋研究所などとも共同研究を行った。

既に8章で述べたように日本がバブルの絶頂期にあった1980年代後半から1990年代の初めに、欧米では既に環境が最重要課題として把握され、建設業はそのビジネス化に取り組み始めていた。

社会と密接に関連して仕事をする建設業にあっても、環境問題解決は発注者への重要技術サービスであった。そのために、早い時期から環境対策の研究開発は行われていた(図22)。環境問題・循環型社会への足音は早くから着実に建設業にも押し寄せていた。ただその研究開発は戦略的とは言えず都度の問題解決のために行われてきたという経緯がある。

## 5 | 建設産業循環の歴史と現状

20年以上前の事と記憶しているが、ある講演会で当時の通産省の人が循環システムの多重性として図23のような図を示した。大変先見性のある図である。循環システムは多様なケースがあることが良く表現されている。企業の環境対策として3R、4Rと言う表現が使われる。Reuse・Recycle・Reduce・Refuseである。大手建設業では4Rは良く徹底され、現場では最重要取組とされている。(図24)

日本の歴史を見ると古代からかなり徹底した循環型社会

	1970	1980	1990	2000
エネルギー		自然エネルギー 省エネルギー 太陽熱利用、洋上ソーラー、風力、マイクログリッド コージェネ、ヒートポンプ、水・水蓄熱、フロアフロー、省エネ診断、TRIMAX		建材一体型太陽光発電 LED照明の普及 シックハウス対策
ゼロエミッション		3Rの徹底、産業ガス除去 有害廃棄物処分 建設廃棄物削減 発生土利用、建設汚泥減量化、解体ガラ利用	放射線廃棄物処分 土壌汚染浄化 環境負荷評価 LCCO <sub>2</sub> 、LCA	最終処分場止水技術 建物基礎の再利用 再生コンクリート 有機系廃棄物処理
水処理		ヘドロ処理、好気性処理	嫌気性処理	広域浄化 特殊緑化 自然生態系保全

図22 清水建設の環境R&Dの歴史

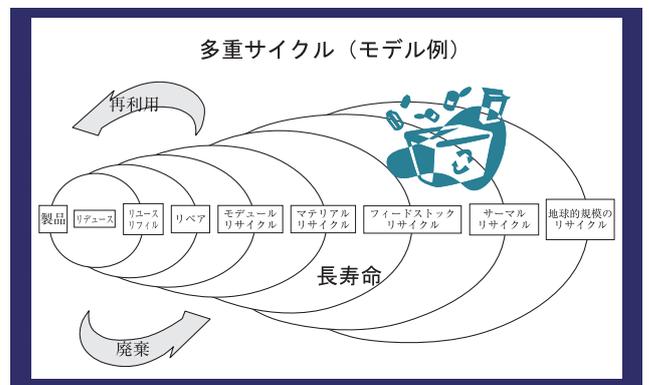


図23 リサイクルの多様性(通産省講演会資料)



図24 現場における環境保全への取組み(分別収集)



図25 建物遺跡の年代は年輪年代測定法によって推定されるが、発掘された木材は過去材の転用が多いので測定年代と建物年代は必ずしも一致しない

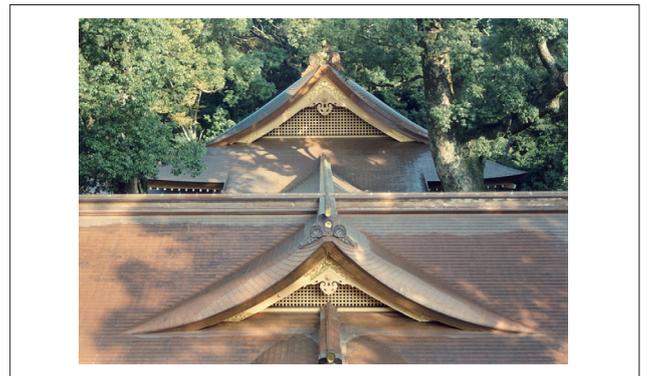


図26 伊勢神宮外宮 (木内修氏提供)

であった。筆者の子供時代でも農村からし尿を汲み取りにきていた。江戸時代も都市の廃棄物が農山村に還元され、「三里四方」と言われ、三里四方のものを食べていれば健康と言われた。今の「地産地消」である。

古代の建物遺跡を見ると木材はかなり転用されている形跡がある。古代遺跡の実年代の測定に年輪年代法という科学的手法が脚光を浴びている。この手法の課題は発掘された木材の年代がその遺跡の年代とは言えないことである(図25)。特に古代では木材は再利用率が高いからである。

伊勢神宮は20年ごとに内宮、外宮の正殿(図26)、14の別宮のすべての社殿を作り直す。古い材料は地方の神社などに渡され再利用される。木は日本で育成し、利用し、再利用し、再生できる唯一のバイオ天然資源である。木造建築こそリユースの原点である。しかしながら、建設廃棄物の中ではリサイクル率が低い。

図27に示すように、大手建設業のCO<sub>2</sub>排出量は2007年度で1990年度比44.5%を達成している。しかしながら、悲しいことにその大きな理由は工事量減少によるもので、その分が36%、業界の削減活動による効果は8%程度である。

一方、建設廃棄物の再資源化は相当程度進んでいる。これは建築・土木の現場に環境意識がかなり徹底されていることを示している。その推進要素は法規制と同時に発注者の環境意識、近隣対策などで、環境活動状況は営業・受注・現場運営にも重要な要素となっている。建設廃棄物のリサイクルもかなり進んでいる(図28)。

残された問題は混合廃棄物、汚泥、木材のさらなるリサイクルである。図29は某大手建設業の2000年代後半の年間排出量と再利用の状況である。コンクリートの再利用はかなり進んでいる建設汚泥などはまだまだである。建設汚泥の処理についてはベントナイトの再利用、脱水処理による残土化、中小現場の汚泥処理には車載型処理システムなどの開発などいろいろな研究開発が行われている。



図27 建設業のCO<sub>2</sub>排出量推移 (建設業ハンドブック 2009)

対象品目	2005年度 目標	2005年度 実績値	2010年度 中間目標	2012年度 目標
再資源化率	アスファルト・コンクリート塊	98%以上	98.6%	98%以上
	コンクリート塊	96%以上	98.1%	98%以上
	建設発生木材	60%	68.2%	75%
再資源化率	建設発生木材	90%	90.7%	95%
	建設汚泥	60%	74.5%	80%
縮減率	建設混合廃棄物	排出量 3,636千t	排出量 2,928千t	2006年比削減率 25%削減
	建設廃棄物全体	88%	92.2%	2006年比削減率 30%削減
	建設発生土有効利用率	(75%)	(62.9%) 80.1%	85%

図28 建設の再資源化状況 (建設業ハンドブック 2009)

	発生量	構成率	全国比	再利用促進量	リサイクル率
コンクリートから	1,154,475	48%	2%	1,068,482	93%
ガラス・陶磁器くず	35,539	1%		20,201	57%
廃プラスチック	7,872	0%		2,225	28%
金属くず	95,743	4%		61,482	64%
混合廃棄物	128,249	5%	2%	57,194	45%
紙屑、繊維屑	6,017	0%		2,963	49%
木くず	46,588	2%	1%	23,853	51%
建設汚泥	899,117	38%	6%	31,744	4%
その他	20,108	1%		4,525	23%
発生土	10,458,104		2%	3,064,429	29%

図29 A 建設業の廃棄物の年間排出量と再利用 (t) 事例

## 6 | 循環型社会対応建設システムとビジネス

1990年代の初めに建設物の完全リサイクルのあり方について検討したことがある。完全リサイクルシステムは一朝一夕に完成させることは困難である。そこでNECが使用していた「戦略設計図手法」を借用して検討してみた(図30)。最終目標には「統合生産システム」「完全自動化ビル施工システム」「完全リサイクル型内装・設備システム」「完全リサイクルコンクリート」を掲げ、その目標達成のためには何をどのような順番・組み合わせで実施すべきかを明らかにした。

一つの試みとしてMIT名誉教授のハブラーケン氏の提案したオープンビルシステムを某マンション建設会社と共同で開発した。ハブラーケン氏の発想は「空間」を「街並み(ティッシュ)」「建物(サポート)」「住戸(インフィル)」に分離して考え、それぞれに互換性、耐久性を持たせようとする思想であった。残念ながら我々の開発は日本社会の状況、関連産業、法律などの障壁が多く時期尚早で完全な失敗であった。将来のためのFSとしての検討として実施しておけば多くのことを学ぶことができたと思われるが、当時のCTOと開発担当者との間には十分な思想のすり合わせがなかった。両者は独自性のある個性的な人材ではあったが、筆者はその中間のポジションであったので責任は大きい。筆者自身もこの両者と十分な意思疎通を行わず、オープンシステムの基本思想の将来性把握が不足していたと今思えば反省大である。MOTはMOH(人間関係マネージメント)である。

オープンシステムへの挑戦に失敗したので、その数段手前の「部品化生産システム」を検討し研究開発を行った。建物の1ユニットを一人の大工で内装・設備・躯体まで施工し、互換性・オープン性を持たせようとする試みであった。その仕組みを拡大し建築生産システム全体に波及させることを検討した(図31)。しかしながら、部品化システムの基本の部分で、大工は電気工事を行えないなど法律の障害、設備・躯体・内装の見積習慣が異なるなどの壁もあり、この試みも結局日の目を見なかった。法律や施工習慣に邪魔されない海外で行うことも検討したが、実現しなかった。オープンビルシステムは日本建築学会でも取り上げられ、2003年10月にはハブラーケン氏も来日し研究協議会が行われた(文献4)。この流れは建築研究所のSI(スケルトン・インフィル)システムとなり彼らの努力で一つの流れとなっている。米国などではスケルトン状態での販売が行われ・流通していたが、日本における最大のネックはスケルトン(骨組)状態で登記ができないことであった。この点については建築研究所、新都市ハウジング協会などが国家プロジェクトとして取り組み改正努力を行い、一定

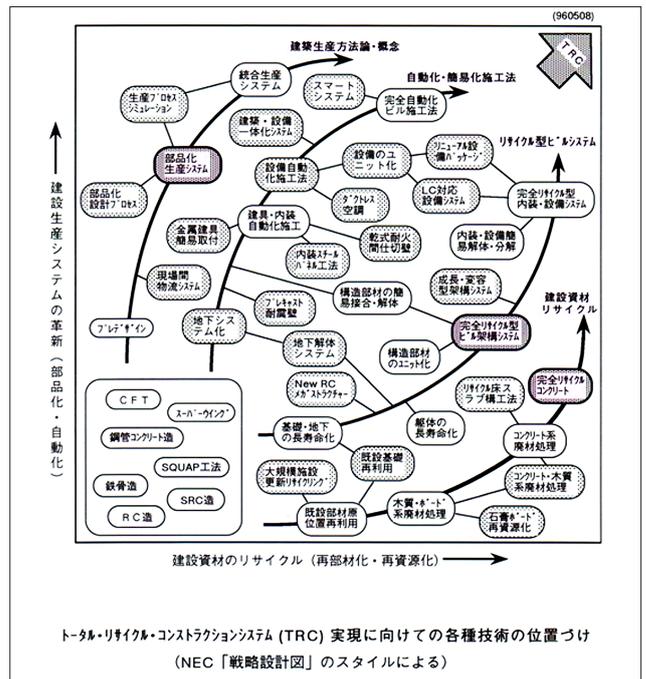


図30 Total Recycle Construction System (1991)

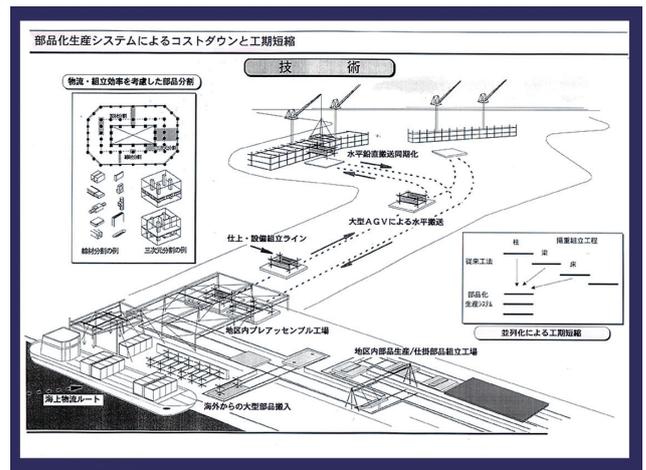


図31 部品化生産システム(1996)

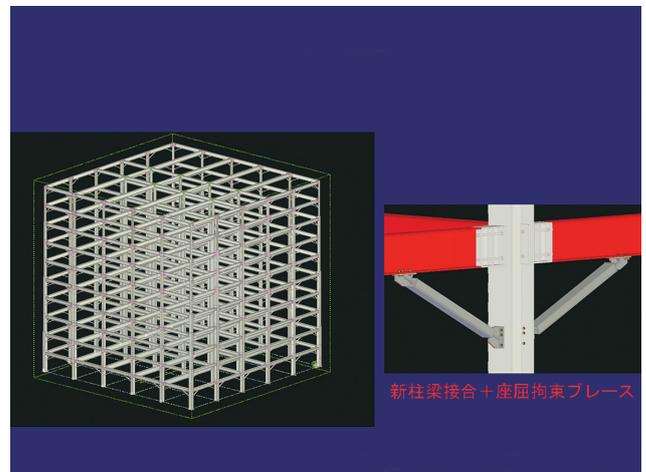


図32 神奈川大学 岩田衛教授の提唱するサステナブル構造システム(岩田教授提供)



の成果は得られたと思われる。

プレファブ住宅は工場生産の組立施工であり最も循環型に適した工法である。特に鉄骨プレファブ系は解体・再利用も容易であり、循環型システムのための工法とも言える。この点に着目した研究開発が政府系資金の支援を受け、大学・商社・製鉄会社・住宅メーカーなどの組み合わせでその取り組みが行われたことがある。技術開発・研究を行う大学、鉄部材を扱う製鉄会社、流通販売を行う商社、実際に循環型住宅を製作するメーカーの組み合わせは最強のチームと言える。しかし、研究開発の中間評価で実現の可能性についての疑問が出されて中止させられたと聞いている。

循環型建築は社会システム全体を巻き込むもので社会の仕組み・法律など大きな障壁のあることは事実である。しかしながら、住宅メーカーはリサイクルに必要なすべてのバリューチェーンを押さえており、社会システムの障壁は少ないと考えられる。今後、循環型建築の一つの重要モデルとなると確信され、プレファブ住宅産業がまず循環型ビジネス・社会に突入・成功することを期待する。

鋼構造は建築物でもリユースが行いやすい構造で、神奈川大学の岩田衛教授は「建築物のリユースシステム」を提案し(文献5,6)、多くの実験・報告を行っている。岩田教授の発想は社会システムとして優れたものであるが、社会の大きな流れとはなっていない。(図32)

清水建設技術研究所は組立・解体容易な鉄骨構造を開発し、実建物をも実現している(図33, 34, 35)。似たような試みは他にも先行事例があるので、この開発テーマの目的は「実社会でビジネスとしてどのように成立させるか」であるとした。現時点では確固とした戦略は出されていない。課題はこの建物がリユースされる時にどのような社会システム、流通システムを確立できるかがポイントである。MOT学で教えるところでは「テクノロジープッシュ」は禁物で「マーケットプル」を考えるべきであるが、この場合は「マーケットプル」でも不十分である。そもそもマーケットが存在しないし創造すべきマーケットは複雑なもので、流通システムが未だ存在しない。プレファブ住宅の場合には1企業でバリューチェーンのすべてを確保できるが、建設業の扱う一般の建物でこの事業を成立させるためには新しいビジネスモデルの確立と社会・国家・産業を巻き込んだ大きな戦略が必要である。残念ながら総合建設業を取り巻く環境と産業の現体質ではなかなか実現困難である。

完全自動化ビル施工システム(図36)は自動組立建物なので解体も自動解体可能のはずである。10章で述べたように多くの会社が挑戦し実現している。自動施工システムで建てられた建物がリユースの年代になった時にどのような取り扱いがされるか注目する必要がある。完全自動施工は

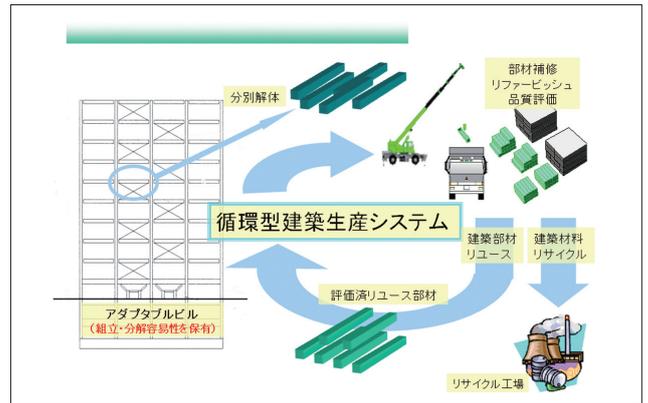


図33 アダプタブルビルディングコンセプト (清水建設提供)

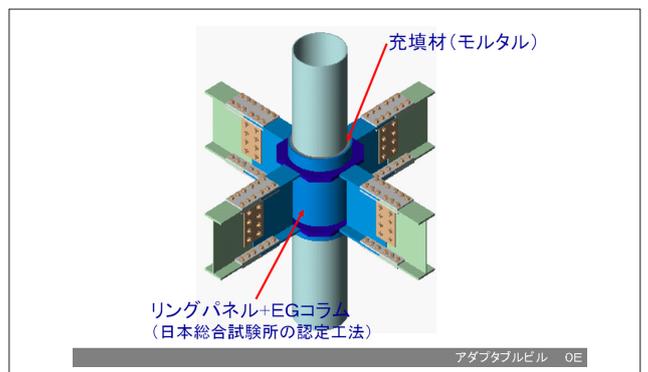


図34 柱梁接合部 (リングパネル、清水建設提供)



図35 柱梁接合部 (清水建設提供)

■ 世界初の全天候型自動化施工システム

- ・労働環境の改善
- ・労働力の削減
- ・建設廃棄物の削減

図36 清水建設のスマートシステム (清水建設提供)

開発の時点では解体時のことはあまり検討されていないと思われる。初期の超高層ビルはリフォームの年代になって初めて多くの課題に気がついた。自動施工ビルも今から検討を開始しておくべきである。完全自動化ビル施工システムの最大の課題はコストアップであったが、従来工法との併用、従来仮設の使用などによりかなりの解決が見られている(図37)。この場合でもリユース事情は同様と思われる。

完全リサイクルコンクリートの構想は古くから検討されていた。図38は東大名誉教授の友澤史紀氏の完全リサイクルコンクリートの定義である。氏の考えた構想は素骨材・再骨材に石灰石を利用することであった。ただこの発想は新期プロジェクトには適用できても既存RC造には適用できない、課題を次世代以降に延ばすと言う問題があった。そのために既存コンクリートの躯体への再利用をいろいろ試みた。しかしながら、骨材表面の微粉末が原因でコンクリートにひび割れが入ってしまった(図39)。従って微粉末の除去が最大の検討課題となった。

筆者の所属する研究所でも総力を挙げて技術の研究開発を行ったが、結果として三菱マテリアルの保有する「加熱すりもみ」と言う技術が最適と言うことになった。この技術を活用して図40のような骨材完全再生システム・機械を開発した。この技術を活用していくつかの建設プロジェクトを施工した。発注者は環境に非常に意欲のある人材であり、近隣にも配慮したものであった。

しかしながら、骨材を完全に元通りにするためには、やはり費用が嵩み新規に購入するよりも割高となる。循環型社会のために技術開発ではどのような分野でもかなりの確率でコストアップになる。この部分への対応は一義的には開発担当者の責任であり、筆者も所属する研究員全員に対応する技術開発を指示した。しかし、循環型社会の構築には政府の果たすべき役割も重要と思われる。環境税のみならず環境優遇税もあるべきである。

セメントでは都市ゴミからのエコセメント(図41)、溶融スラグの再利用(図42)が技術開発されているが、事業としては成功していない。

循環型とは必ずしもいえないが、土壌汚染は現在では建設業のビジネスとして定着している(図43)。筆者が1991年に米国から帰国して汚染土壌処理が重要ビジネスになると提起し、担当者が設定された。担当部署も設置されたがなかなかビジネスにはならなかった。当時、土壌汚染に対しては国家規準が不明で汚染は表に出なかったため、ビジネスにはならなかった。当初の汚染土壌事業担当者はビジネスとして浮上しないため、事業部門から開発部門へ退避を求めてきた。彼が退社してから国家規準が明確になり大きなビジネスがスタートした。環境事業における国家規



図37 スマートシステムの改良と展開 (清水建設提供)

**定義 (東大 友澤史紀名誉教授の発案)**  
セメントおよびセメント原料となる物質のみにより、コンクリートの結合材、混合材、骨材が構成され、硬化後、全ての材料が再びセメント原料として利用可能となるコンクリート

分類	名称
粉体	セメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカ質微粉末、シリカヒューム、石灰石微粉末
細骨材	石灰石砕砂、珪酸質岩石砕砂、珪砂、高炉スラグ細骨材、膨張珪酸質系人工軽量骨材、フライアッシュ焼成細骨材、鋼スラグ砕砂、フェロニッケルスラグ細骨材
粗骨材	石灰石砕石、珪酸質岩石の砕石または砂利、粘板岩の砕石または砂利、高炉スラグ粗骨材、膨張珪酸質系人工軽量骨材、フライアッシュ焼成粗骨材、石灰炭人工軽量骨材

図38 完全リサイクルコンクリート

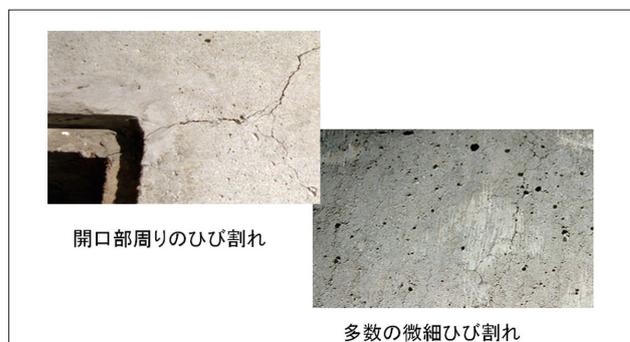


図39 初期の再生粗骨材コンクリートの適用結果



図40 加熱するもみ工法 (清水建設提供)



制・補助の必要なケースである。

建設廃棄物の処理の中で汚泥は最大の課題である。汚泥の現場再利用、骨材化などの技術開発・商品化も進んでいるが、ビジネスとしては必ずしも成功していない。工事で伐採された植物・木材の焼却が禁止されたために、その再利用は法面吹くつけ材として活用されビジネスとして成功している(図44)。これは法規制強化と公共企業への環境に優しい技術導入傾向に後押しされたものである。

循環商品は技術開発の努力をしてもコスト高になる可能性が強い。事業が軌道に乗って自動的に産業化できるまでは、環境税ではなく環境優遇税や政府補助が必要と考える。

## 7 | 未来の循環型建設業へ向けて

循環型建築のあり方には図23に示すように多くの段階、レベルがある。Reduceはから始まり、材料リサイクル、部材リサイクル、建築物完全リサイクル、さらには超寿命と多くの段階がある。できる範囲から始めるのがよい。

日本建築学会では建物の完全リサイクルの一手前として「期限付き建築物リユース小委員会」を組織し、2006年度の建築学会大会でPDを行っている。筆者は参加していないが、構造部材のリユースが議論の対象である。まずは構造部材のリユースから検討するのは良い方向と考える。既に述べたように、建設関連産業で最も循環型実現に近いのはプレファブ住宅と思われる。この産業でのさらなる試みが期待される。

最初に述べたように、日本では古代から木造建築のリユース・リサイクルは長く行われてきたが、それは特別な建物に限られていた。住宅・建築の設計時から歴史的な建造物の再生は多く行われてきている。今後は普通の住宅・建築物でもリユース・リサイクルが行われるように検討が必要である。

日本建築学会では東京大学の松村秀一教授を委員長にして「既存建築を活かす耐震改修デザイン特別調査委員会」を設置している。ここでは、既存不適格建物の改修には様々な支援があるが耐震改修はあまり進んでいないと報告している。その理由は以下である。

1. 改修に要する費用が高い
2. 既存不適格建築物への現行法の適及
3. 耐震改修は不動産価値に反映されにくい

しかしながら、この委員会では日本の建築市場は大きな転換期を迎えているとしている。ヨーロッパでは着実に進んでいるにもかかわらず、日本では掛け声のみに終わっていたコンバージョンがよいよ番となると指摘している。新築市場の急激な落ち込み、ストックの充足と質的向上がそれを促進すると言う。



図 41 エコセメント



図 42 溶融スラグの用途

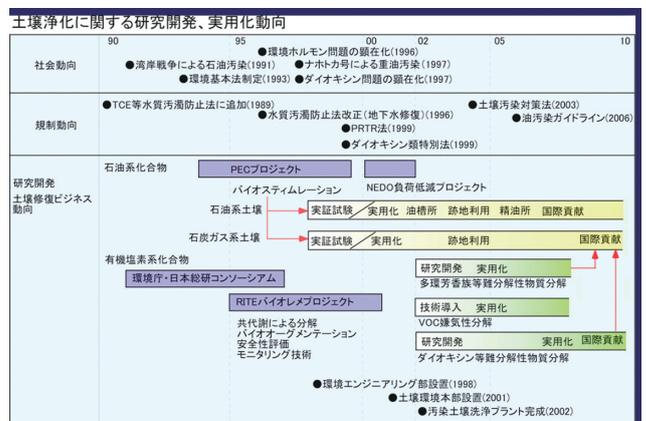


図 43 土壌浄化の歴史



図 44 伐採材の再利用(清水建設提供)

国土交通省は住宅の長寿命化（「200年住宅」）促進税制の創設を行った（図45）。税制優遇する方向は強い追い風になると期待される。

従来の新築建築市場では建設業者が主役であったが、今後のコンバージョン市場では誰が主役になるか分からない。ヨーロッパのPFI、PPP市場では思いもよらない産業が表舞台に立っている。

リユース・リサイクル市場では流通が重要な役割を果たす。一品受注に浸ってきた建設業は乗り遅れる可能性大である。材料メーカー、商社、不動産販売会社、住宅取引会社、銀行、鉄骨ファブリケーターなどいろいろな産業が進出する可能性がある。

時代は大きく変化しているにもかかわらず、いくつかの建設業や建設関連業は従来新築建築事業にすがりつこうとしているように思われる。また、新时期建築需要が増えるとの期待観であろうか。しかし、GDPに占める公共工事、建設工事の海外の状況を見ると、日本におけるそれはまだ大きい。従って、建設需要は今後も低下し続けることは確実である。

今後の建設業は箱もの中心からの脱却が必要である。その場合には図46のような広域循環システムの担い手となることなどが必要である。その先駆けとなるはずの家畜糞尿のバイオガス化（図47）は大手建設業各社が手掛けているが、事業としては必ずしも成功していない。

建設業はDOWAホールディングスの変貌、数度の苦難を乗り越えて変貌しつつある富士フィルムホールディングスに学ぶ必要がある。そのためには、DOWAホールディングスのように経営トップ陣に技術者ではない人材が必要かもしれない。総合建設会社はマーケットの変貌を見据え、新規市場の研究以上に循環型社会における自らのポジションをしっかりと見据えて対応する必要がある。

### ●参考文献

1. 金属資源開発調査企画グループ「我が国の銅の需給状況の歴史と変遷 歴史シリーズ 銅(2)」『金属資源レポート』2005.9
2. DOWAホールディングスHP
3. 富士フィルムホールディングスHP
4. 日本建築学会建築計画委員会：オープンビルディングの産業化小委員会「ハブラーケンMIT名誉教授を囲む研究協議会」2003.10.29
5. 岩田衛「建築鋼構造のリユースシステム」建設工業調査会
6. 岩田衛「環境に配慮した接合部」『建築技術』No.659, 2004.12
7. 清水建設技術研究所『環境創造テクノロジー』イブシロン出版企画, 2006
8. 島夕純子、古川純也、加藤貴志、前田親範、岩田衛「サステナブル構造システムの設計法の提案」『日本建築学会構造系論文集』第74巻第640号, 2009.6



図45 住宅の長寿命化（「200年住宅」）促進税制

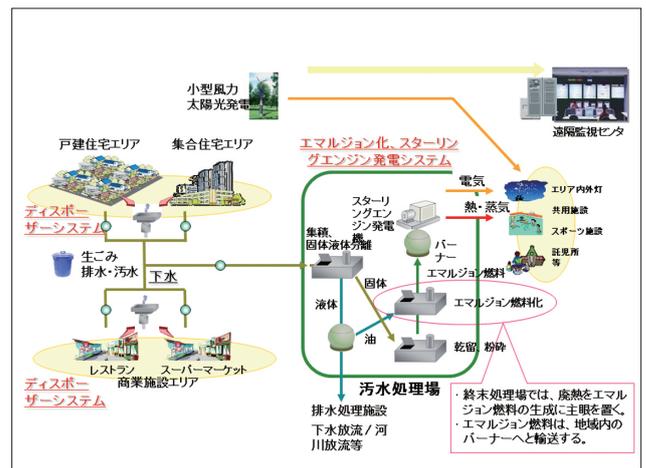


図46 循環システム構築例



図47 家畜糞尿利用バイオガスプラント