

地球温暖化の抑制策の考察と提言

大川 聡¹

¹博士 (システムエンジニアリング学), 『建設機械要覧』編集委員会委員,
元慶応義塾大学 SDM 研究所, 元コマツ (〒 251-0037 神奈川県藤沢市鵠沼海岸 5-3-10-307)
E-mail: ohkawakmt@gmail.com

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2021年に地球温暖化は人間の活動によると断定したことが世界中に大きな波紋を呼んでいる。本稿では当協会として実行可能な地球温暖化の抑制策について考察して提言する。世界の建設で発生する炭酸ガス(以下CO₂)はセメント、鉄鋼と供給エネルギーから排出される。セメントは製造時にCO₂を大量に排出するため、新たにCO₂排出量を減らすセメントやコンクリートが開発されている。日本の鉄鋼業界のCO₂排出は産業界で最大であり日本の全排出量の約17%に上る。鉄鋼製造時のCO₂排出量を減らすプロジェクトはあるが実用化はまだ先である。このため解体した鉄骨構造物の鋼材をリユースしてCO₂の排出を減らす研究や、耐火集材と限られた鋼材だけで高層ビルを作る計画もある。鉄筋コンクリートや鉄骨構造物の寿命延長もCO₂の低減に寄与する。これらの統合したCO₂削減による地球温暖化抑制策が必要である。一方、世界的に大規模な森林火災が増えており世界のCO₂排出量の20%以上に達することが分かった。森林火災に対応する消防車はないため、建設機械を改良した専用の消防車を作り森林火災の多発地域に導入すると地球温暖化抑制が期待できる。これらの抑制策についてシステムズエンジニアリングの手法や記述を用いて考察して提言をまとめる。

キーワード: *global warming, CO₂, systems engineering, SysML, steel, cement, forest fire, fire engine*

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2021年8月に地球温暖化は人間の活動によると断定した¹⁾。筆者はシステムズエンジニアリング(以下SE)の手法を用いて、建設業や建設機械製造業が地球温暖化防止に貢献する方法を大学院のゼミなどで検討してきた。しかし、トランプ前米大統領が地球温暖化はないと断言して以来、地球温暖化を根拠なく否定する雰囲気アカデミックな人々にさえも残っている。そこで、地球温暖化のさまざまな要因をSEのアーキテクチャーの分解と定義(Decomposition Analysis and Resolution Process; DAR)²⁾により図-1のよう改めて整理した。地球温暖化という問題(クリティカル・イシュー)の発生原因については、大嶋³⁾が地球46億年間の8つの気候変動原因説について紹介している。これらの説に基づいて太陽系と地球系の二つのシステムに分けていくつかの要因に階層化して、それらのリスクとリスク発生の有無を解析する。年代を20世紀以降と限定すると、太陽系システムでは現在の急激な地球温暖化を起こす大きな要因はない。11年周期の太陽活動も地球温暖化に直接的な影響はない。地球系システムでは宇宙線増加によるオゾン層破壊、海洋自体の発熱、地球内部からの火山活動からの熱やガスの放出は多いとは言えない。それよりも人類の産業活動による次の要因

が地球温暖化に大きな影響している。

- (1) 特定フロン(CFC)の排出によるオゾン層破壊とこれによる地表への紫外線到達量増加で、地球温暖化の可能性があった。しかし、モントリオール条約により2010年にCFCは世界中で生産が中止されている⁴⁾。ただし、2020年生産全廃のハイドロクロロフルオロカーボン(以下HCFC)はまだオゾン層への悪影響がある⁵⁾。HCFCや規制のないハイドロフルオロカーボン(以下HFC)でも地球温暖化係数⁶⁾がCO₂の1万倍もあるものがある。これらフロン類ガスが冷媒や洗浄剤として今後も使用される。
- (2) 産業起源の温暖化ガス(CO₂、メタンガス、一酸化窒素N₂Oとフロンガス)排出の内、CO₂の量は65%を占める⁷⁾。南極氷床中のCO₂量の分析では、65万年前から産業革命が始まる前まではCO₂濃度は200~280 ppmであったが^{3), 8)}、1900年以降に急増して⁹⁾、2018年には410 ppmとなっている¹⁰⁾。地球46億年間の気候変動の原因はCO₂の影響をはじめ諸説があるが、350 ppm以上になったのは過去16万年間で一度もない³⁾。
- (3) 産業活動からの熱の放出は太陽熱に比べると小さいが、都市のヒートアイランド化など局所的な影響は大きい¹¹⁾。

ちなみに2018年に日本が排出した温暖化ガスの温室

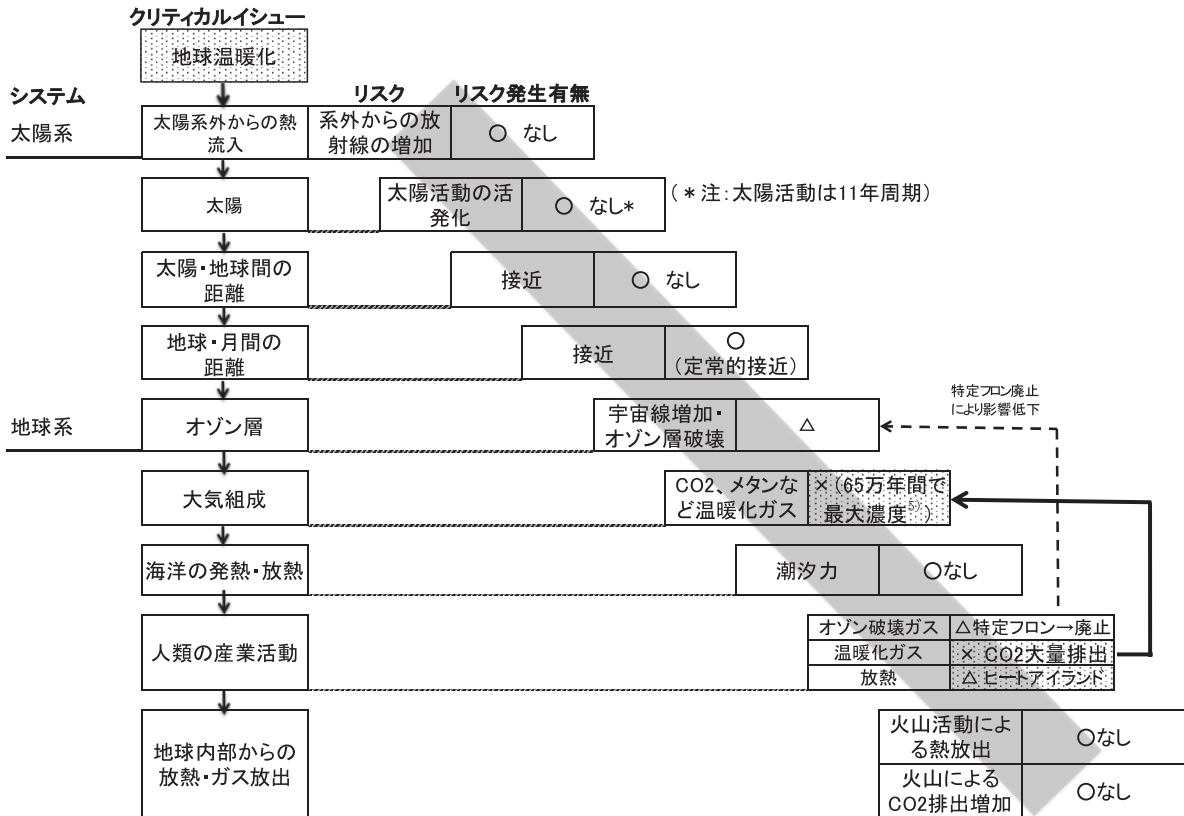


図-1 20世紀以降の地球温暖化の要因のDARを用いた分解と解析

効果への(日本分の)寄与度は、CO₂が91.7%、メタンが2.4%、N₂Oが1.6%でフロン類は4.3%である¹²⁾。そこで、本稿ではCO₂削減に絞り削減方法を新しい視点から考察して提言する。

2. 世界の人為的なCO₂排出量の再検討

従来は森林火災は人為的でないとCO₂排出防止策として取り組まれていなかった。しかし、南米・東南アジア・アフリカなどの密林の乱開発(焼き畑農業、農地拡大、木材伐採、鉱山開発など)を原因とする火災、あるいは地球温暖化による過去に例を見ない大規模な森林火災(北米、欧州、豪州、ロシアなど)が頻発することは無視できなくなっている。なお、森林の1haの消失によりCO₂が180~370ton排出されるとされる¹³⁾。図-2は2016年の各国産業によるCO₂排出量¹⁴⁾に、福田¹⁵⁾による森林火災によるCO₂排出量の2011年見積もりを重ね合わせものである。森林火災によるCO₂排出を見積もった資料は少ない。近年の増加する森林火災で排出されるCO₂は、中国の排出量を超えることも予想される。例えば2015年に発生したインドネシアの森林火災はわずか2ヶ月の間に日本の1年分に相当するCO₂を排出したとされる¹⁶⁾。この火災の原因は石炭露天掘りなどによるジャングル伐採で地表の落葉・落枝(リター)

層や地下の泥炭層が乾燥して、焼畑や自然着火によりリター層や、まれに地中の泥炭層まで地中で燃え続けるためである(図-3)¹⁷⁾。インドネシアの泥炭地火災はその後も度々起こっている。CO₂排出量の抑制には大規模森林火災への対策が必要となっている。そこで、本稿では森林火災用の消防車についても検討する。

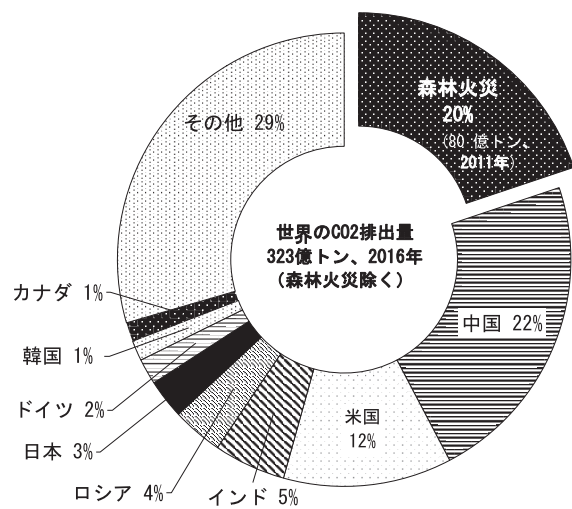


図-2 世界の産業活動によるCO₂排出量¹⁴⁾と森林火災によるCO₂排出量¹⁵⁾



図-3 排水された泥炭地で発生した火災 (原口¹⁸⁾)
リター層から炎が出ている状態

3. 国内の産業界で発生する CO₂ の抑制

日本の産業と家庭の各セクターに入る燃料が CO₂ に変換される全体の振る舞いを、SysML (Systems Modeling Language¹⁹) のアクティビティ図 (図-4) として示す。SysML の英語表記のため、日本語も付記する。各燃料の各セクターへの動きは資源エネルギー庁の資料エネルギーバランス・フロー概要 (2016 年度)²⁰ ならびに全国地球温暖化防止推進センターの日本の部門別二酸化炭素排出量 (2018 年度)²¹ を基にした。図左枠から石炭 (Coal)、石油 (Oil) と天然ガス (Gas) が供給され、最終的に CO₂ として右の大气側 (Air) に排出される。図中の線の太さはそれぞれの量に比例させている。発電所などエネルギー変換セクター (Energy Conversion Sector) は石炭、石

油と天然ガスを電気に変換する時 (Produce Electricity) に CO₂ を日本の全排出量の 41.3% 排出する。このため石炭や石油から CO₂ 排出量の少ない天然ガスへの転換がなされている。一方、CO₂ 排出がゼロの原子力は 2011 年の福島原発事故、使用済み燃料の廃棄手段の欠如、あるいは安全性のために停止せざるを得ない状況が続いている。

産業・商業セクター (Industrial & Commercial Sector) の CO₂ 排出量は、エネルギー変換セクターなみに 36.3% と多いが、これは産業、業務その他、工業プロセスと廃棄物の各部門合計である。産業・商業セクターはまた電気の最大消費者 (73.4%) である。製造販売時 (Produce and Sell Products) に多くの CO₂ を排出している。このセクターは今まで以上の何らかの新しい対策が必要である。運輸セクター (Transportation Sector) では製品・人の輸送 (Transport Product and Person) が産業・商業セクターの約 1/2 の CO₂ 排出であり、今後は自動車や電車がハイブリッド化や電池駆動により排出量が低減される方向に向かっている。家庭セクター (Household Sector) では全ての製品・サービスを使用 (Use All Product & Service) しても、低電力型の家電普及などで排出量は 5% に留まっている。

電力購入量消費の内訳を、新電力ネット²² のまとめた産業別電力購入量ランキングから整理すると図-5 のようになる。ここでは上位 49 業種だけを取り上げて、その合計を総電力購入量としている。小売業とサービス

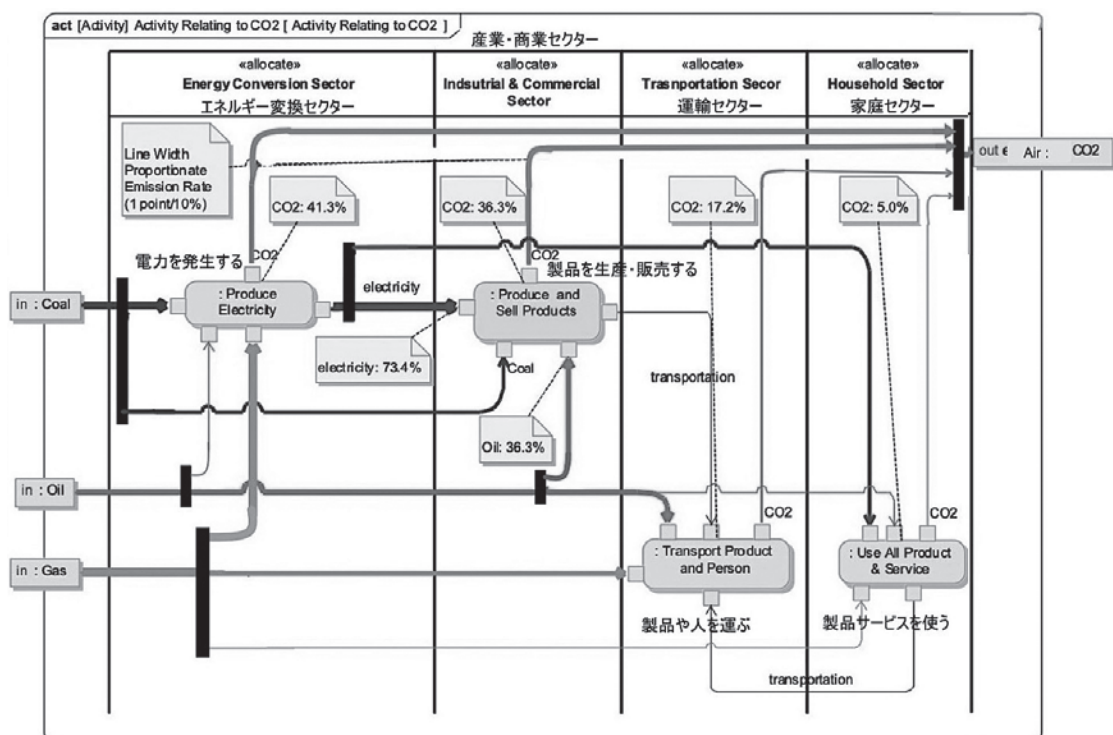


図-4 CO₂ の排出に関する国内の各セクターの振る舞いを表すアクティビティ図

業は合わせて40%強であるが、有効なCO₂排出低減の対策は各企業の省燃費化に期待するしかない。同じく製造業(工業)は16業種合わせて計43%であり、同様に各企業の省燃費化が唯一有効な手段である。

一方、産業・商業セクターのCO₂排出量は前述のように日本全体の36.3%にも上り、石炭と石油の消費も多い。図-6に示すとおり、製造業の主要6業種に限ると鉄鋼業が全排出量の48%を占めている。これは製鉄所の高炉からCO₂が大量の排出されるためである。日本鉄鋼連盟は製鉄所から排出されるCO₂を30%削減するプロジェクトを進めているが、実用化目標は2050年まで先である²³⁾。

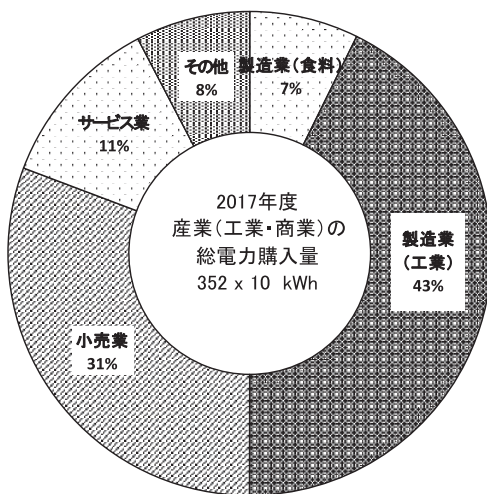


図-5 国内の産業・商業部門の電力購入量の内訳 (文献 22 に基づき作成)

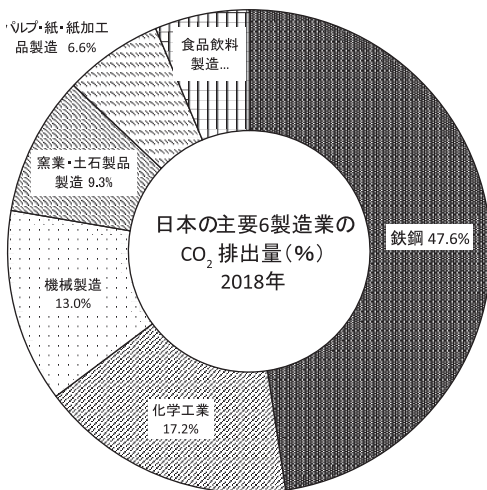


図-6 国内の主要6製造のCO₂排出量 (文献 32, 33 に基づき作成)

4. 地球温暖化防止への貢献策

4.1 建設業の貢献策

近年建設業では、建設機械の燃費低減や電動化の推進、あるいは情報化施工で施工効率を上げてCO₂抑制を進めている。建設業各社ではさらに掘削土量の低減、建設残土のリサイクルや建設廃棄物の低減を進めている。建設物についても省エネ建物やゼロエネルギービル(ZEB)などによるCO₂低減を進めている。

欧州連合(EU)が公表している世界の建設におけるCO₂排出はセメント、鉄鋼とエネルギー供給が原因である²⁴⁾。前述の建設機械の低燃費化や情報化施工などは建設へのエネルギー供給に関する対策である。セメントのCO₂排出対策として新しいセメントやコンクリートの開発が盛んになっている。通常のセメントは原料に石灰石(CaCO₃)が用いられるが、ロータリーキルンで焼成時に石灰石が熱分解してCO₂を排出する。これはセメント製造時に排出されるCO₂の60%にもなる²⁵⁾。そこで、最近では石灰石の代わりに製鉄所の高炉スラグを使ったセメントでCO₂を低減することが実用化されている。また、セメントを使わずに合成炭酸カルシウム(石灰石と同じCaCO₃)を主原料とするコンクリートも開発中である^{26), 27)}。セメントに2CaO・SiO₂(ビーライト, Belite)を加えると、セメント製造時のCO₂排出量を半減できる上、コンクリートにするとCO₂を吸収して耐久性が上がる性質もある²⁸⁾。このコンクリートを火力発電所のCO₂吸収に実用している例がある²⁹⁾。柳橋³⁰⁾はすでに推定寿命500年以上の超高耐久性コンクリートを使って宗教建築物を建造した例を報告している。また、阪田³¹⁾はコンクリート成分の改良と共に、コンクリート構造物の耐久性照査して寿命を延長している。

火力発電以外では鉄鋼製造のCO₂排出量が最も多い部類であるため、建築・土木構造物(以下構造物)への鉄筋や鉄骨の使用を削減することで日本のCO₂排出量を削減可能である。図-7に国内の鉄鋼の購入先とその量を示す。これから建設用鋼材の製造によるCO₂は国内排出量の約2.8%にも達する計算になる。陣内ら³⁴⁾は高耐久性鉄筋コンクリートを用いて、46年程度と言われる分譲マンション寿命を500~1,000年に延長する可能性を検討している。このコンクリートは水セメント比を変更して、ステンレス鉄筋または防錆コーティングを施した鉄筋を使い、コンクリート表面に適切なタイルなどの仕上げ材を施してコンクリートの中酸化や乾燥収縮を防ぐことで実現可能としている。藤田ら³⁵⁾は構造物解体で出る建築用鋼(H型鋼など)のリユースについて実際の竣工例も調査するなどして、解体方法、鋼材の選定方

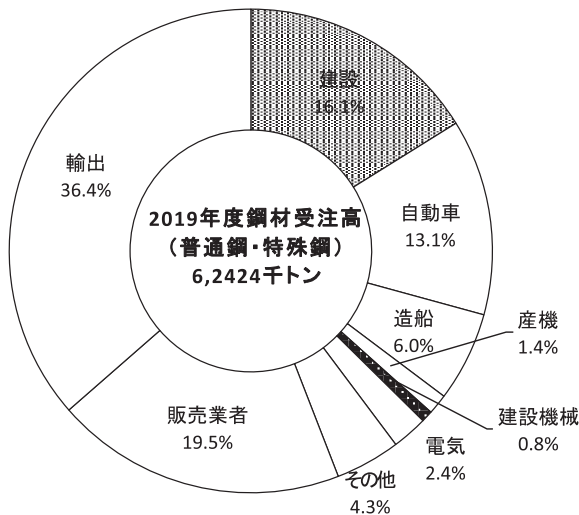


図-7 国内各業種の鋼材購入量の比率 (文献 36 に基づき作成)

法そして強度変化や構造設計方法を明らかにしている。これによりスクラップとして溶融再利用するよりも CO₂ 排出量が低減することを示している。一方、耐火集成材と限られた鉄骨³⁷⁾だけで作る 17 階建ての木造建築が計画されている³⁸⁾。これら CO₂ 削減の多くの新技術が開発されて一部はすでに実用化も進んでいるが、日本の建設分野の方針が一般には伝わっていない。統合された方針が明らかになれば、国内製鉄会社の CO₂ 低減プロジェクトの前倒し実施や、発展途上国の製鉄会社の CO₂ 低減を促すことになるとと思われる。

そこで、建設分野とセメント・鉄鋼産業の CO₂ 排出に関する従来の振る舞いと、今後の期待される振る舞いをアクティビティ図で記述して考察する。

図-8 は現状の鉄鋼業(Steel Industry), セメント産業(Cement Industry), 他の建材産業(Other Material Industry), 建設業(Construction Industry)と解体業(Demolition Industry)における原料, 製品と CO₂ の流れとそれぞれの振る舞いを表す。コンクリート製造は建設業に含め、解体業は実際には建設業であるが振る舞いを明確に記述するために分けている。建設業が構造物を受注(図中●)すると、鉄鋼業とセメント産業に注文(Order)が行く。建設業が受注しないと建設は中止される(⊗, Cancel Order)。鉄鋼業は石炭(Coal), 鉄鉱石(Iron Ore), 石灰石(CaCO₃)と生石灰(CaO)を用いて建設用鋼材を製造する(Produce Steel for Construction)。この際に日本の CO₂ 排出量の約 2.8% を大気中(Air)に放出する。セメント産業は石灰石, 石油(Oil), 粘土(Clay)と水(Water)からセメントを製造する(Produce Cement)。その際に石灰石が熱分解して炭酸ガスを発生し(CaCO₃ → CaO + CO₂)、日本の全 CO₂ 排出量の 3% を排出する³⁹⁾。一部のセメントは鉄鋼業から高炉スラグ(Slag)を購入して低 CO₂ セメントを製造している。セメントは建設業に近い場所で水, 砂と砂利(Sand & Gravel)を混ぜて(Mix Concrete)コンクリートとして建設業に渡る。構造物は建設された(Construct Architecture)後, 50 年前後に(図中の砂時計マーク)解体される(Demolish Architecture)。解体時に発生するコンクリート塊(Waste Concrete)は中の鉄筋が引き抜かれてスクラップ(Steel Scrap)となり、コンクリート分は道路用などにほぼ 100% リサイクルされている⁴⁰⁾。

図-9 は前述の新しいセメント, 耐火集成材あるいは

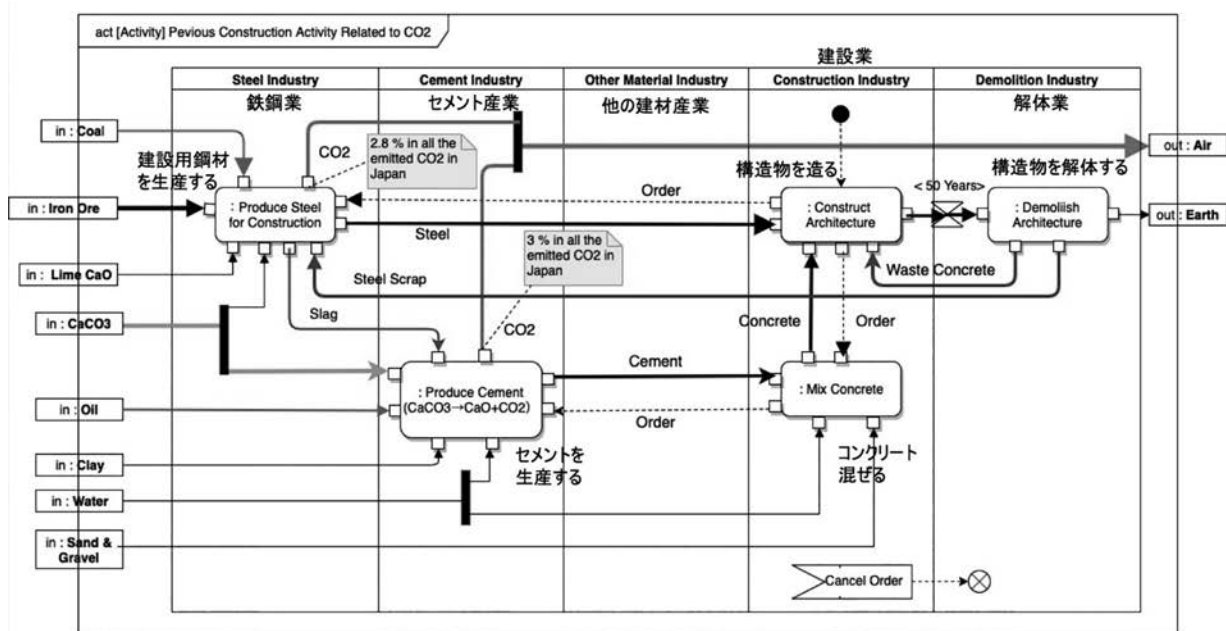


図-8 従来の建設業と関連業界の CO₂ 排出に関する振る舞いを表すアクティビティ図

構造物の寿命延長などを統合した CO₂ 抑制方法について、建設業を主体とした振る舞いをアクティビティ図を用いて記述しながら考察した。この図の流れや数値は文献^{25, 26, 34, 35, 37, 40, 42 ~ 46)}に基づいている。鉄鋼業(Steel Industry)は現状維持の状態であるが、型鋼や鉄筋については構造物の寿命延長のために今後防錆処理(Treat Steel for Rust-Proof)が必要となる。セメント産業(Cement Industry)は CO₂ 低減が可能となる3種の低 CO₂ あるいは CO₂ 吸収セメントの製造(Produce Slag-Cement, CaCO₃ Cement absorbing CO₂ and Belite-Cement absorbing CO₂)が開発されている。CO₂ 低減効果、耐久性とコストの比較(図中◇, Low Cost)で採用が決められる。耐火集成材の製造(Laminate Lumber with Refractory)は CO₂ 排出がなく高層ビル建設まで可能な新材料であるが、全ての建造物に使える訳ではなく一部には鉄骨の使用が必要である。鉄骨は電気炉用のスクラップ(Scrap)せずに切断加工してリユース(Reused Structural Steel Bar)し、鉄鋼使用量を減らして CO₂ 発生を減らす。全ての構造物は長寿命設計(Construct Long-life Architecture)として、全ての鋼材は500年以上の使用を可能とする。人口の大きな増減や大きな仕事形態の変化(テレワークなど)にも対応できるように、100年位に(図中の砂時計型マーク)の大きな構造物改良(Renovation/Improve Architecture)が可能な設計をする必要がある。

本図の例に示すような統合的な将来像を作成して実行

することで、日本の全 CO₂ 排出量の 5.8% に達する建設からの排出を大きく低減できる。EU の発表²⁴⁾によれば世界 40 ヶ国の建設部門の排出量は全体の 20% も占める。この中で中国 36%、インド 25% などアジア諸国が多い²⁴⁾。日本の建設業界がセメントの低 CO₂ 化と、鉄鋼使用の削減策ならびに構造物の長寿命化のビジョンを世界に示すことが必要と思われる。これにより日本の建設技術やセメント技術の海外輸出や、世界の鉄鋼業の低 CO₂ 化を促すことも期待できる。

4.2 建設機械メーカーの抑制策

世界的に消防車は都市部の火災向けに設計してあり、高速で走行できる道路があり、消火栓があることが前提となっている。大規模な森林火災では道路は十分に整備されておらず、森林全体が火に包まれ、さらに泥炭や枝葉・落枝の堆積層が地面から燃える状況では一般消防車では消火は困難である。日本の通常の消防車は水タンク容量が 2.0 kL であり、森林消火には不十分である。一方、米国では放水装置を持たない消防車は水タンク容量が最大で 15.0 kL もあるが、放水装置を持つ消防車は最大 7.6 kL である⁴⁷⁾。このため、航空機からの空中消火に頼るのが世界の現状である。しかし、消防用の飛行機は夜間、天候不良あるいは煙が著しい場合には消火活動ができない問題がある。

図-10 は SysML の要求図に、森林火災用消防車(以下森林消防車, Fire-engine for Forest)に必要とされる条

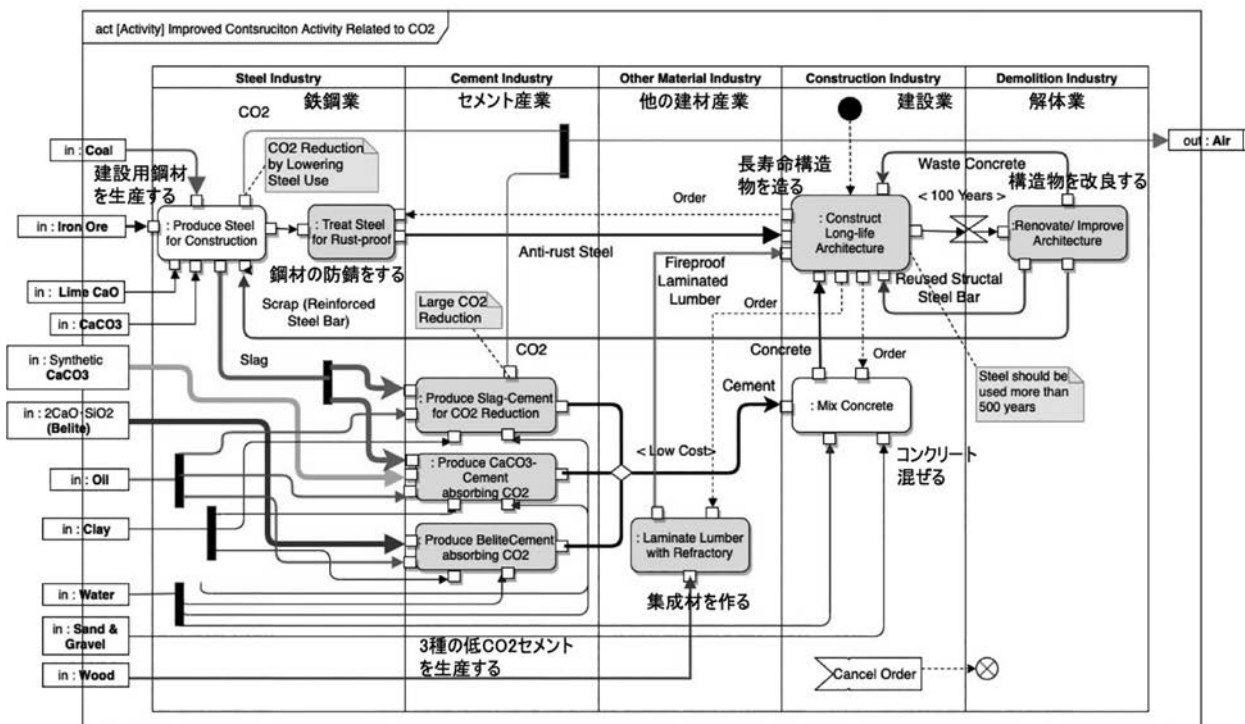


図-9 全ての CO₂ 低減方法を統合的に盛り込んだ場合の建設業と関連業界の振る舞いを表すアクティビティ図

ラー(Sprinkler), 煙対策として空気フィルタ付きの加圧運転席(Pressurized Cab+Fine Air Filter), ラジコン/自立運転システム(Radio Controller and Autonomous Controller), 高出力エンジン(High Power Engine)ならびに不整地用の走行装置(Proper Travelling Device)である。

これらの要求を満足し装備を搭載できる機種を, 様々な建設機械から選定すると図-12のようにアーティキュレート・ダンプトラック(以下 ADT)が適していると考えられる。40 トン積みの ADT は出力 350 kW エンジンを搭載している。ベッセルの代わりに 35 kL 程度の水タンクを取り付けられると考えられ, 満載時に 56 km/h で走行できる。火災が発生している森林内に入るため輻射熱対策, 車体冷却用のスプリンクラー, 道を塞ぐ倒木除去のためのブレードを装着する。地面や地下の火災に対しては下向きの散水装置と放水銃付きリッパを装着する。危険が大きい場合にはラジコンや自動運転で火災現場に進入あるいは退去する。

森林火災にしばしば使われる自衛隊の双発大型ヘリコプタ(63 人乗り)のバケット式水タンクは 7.5 kL の容量しかない。250-380 人乗りの大型ジェット旅客機の改造消防機では水タンク容量は 45 kL である⁵⁰⁾。アメリカで一般的な軍用 4 発輸送機の改造消防機は水タンク容量 11 ~ 15 kL である⁵¹⁾。数台の ADT 改造の消防車を使えば大型消防機以上の消火能力になる。ADT は大型タイヤ(外径 1.8 m)の 6 輪駆動で中折式車体であり, 3 軸を別々にねじりながら走行できるように 50 cm 位の深さの泥濘地, 砂地あるいは岩場でも走行できる。密林を切り開いた場所, 平坦な森林で充分走行可能である。但し, 日本の急峻な山林火災には適していない。森林火災での輻射熱対策は建設機械メーカーが製鉄所内のスラグ処理用の建設機械の経験で対応できる。タイヤ式建設機械は赤熱したスラグが散らばっているところでも使用されている実績がある。

消防飛行機は前述以外にも次のような問題点⁵⁰⁾があ

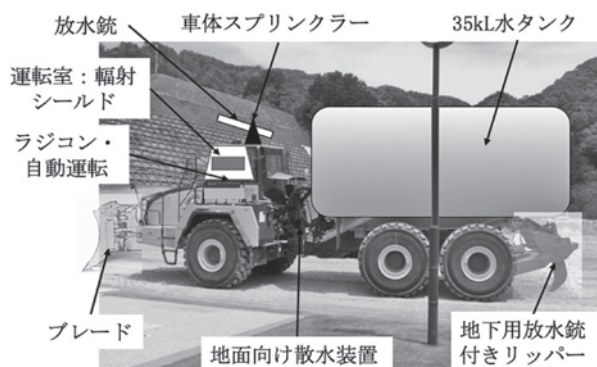


図-12 ADT 改造の森林消防車のイメージ

る。(1)近隣に飛行場が必要, (2)火災に対して有効な散水が難しい。ADT 改造の森林専用消防車はこれらを解決できる可能性がある。日本のような急峻な山林火災にはクローラダンプなどが利用できる可能性がある。

5. まとめ

地球温暖化は近年の夏場の異常高温, 集中豪雨あるいは台風大型化を起し, 生活, 経済, 社会と自然への深刻な脅威となっている。このため, 地球温暖化の対策にはより具体的アクションが必要になっている。そこで, 当協会とその会員が直ちに取り組むことができる地球温暖化の抑制策について, システムズエンジニアリングに基づく手法を用いて考察を行った結果, 以下の地球温暖化の抑制策案を提言する。

(1)建設分野では CO₂ 低減できる新セメントの実用化を進める。新セメントは鉄筋の中性化も遅らせることができるため, 構造物の寿命を現状の 50 年位から 500 年以上にする設計とする。長寿命構造物は社会変化に応じて改良可能な設計とする。耐火集積材の採用は CO₂ 低減に有効であるため普及を図る必要がある。これらにより鉄鋼の使用量を減らして CO₂ 低減をして地球温暖化を抑制する。

建設業界でこれらの対策を統合した地球温暖化の抑制策を国内外に公表することを提言したい。国内外の鉄鋼業も高炉の CO₂ 低減を前倒しする切掛けになる。

(2)建設機械メーカーは大容量の水タンクを搭載して不整地や山間部を自在に移動できる森林火災専用の消防車を開発することを提言する。これにより森林火災の早期消火を実現し地球温暖化抑制策の一つとする。

6. あとがき

世界中で地球温暖化防止が叫ばれても一向に CO₂ 濃度が下がる気配はない。2002 年に JCMAS H016「建設機械の環境負荷低減技術指針」⁵²⁾を制定して以来, 建設機械メーカーは工場と建設機械自体からの CO₂ 排出を低減してきたが, 地球温暖化に対する実績は微々たるものであることを本研究で知った。多量の CO₂ を排出している鉄鋼業の一層の抑制努力に期待しなければならない。

地球温暖化対策として炭素税や排出権取引も議論されているが集まる金は, CO₂ 吸収源である森林に直接投資される訳ではないため実効性がない。森林の所有者や住民に炭素税などを還流して森林火災を防ぎ, 森林再生を

する仕組みが必要と思われる。

一方、日本では長い景気低迷が続き、会社活力も弱まっているように思われている。しかし、建設と建設機械の分野を見ればCO₂低減に対して力強い研究開発がなされている。当協会が地球温暖化に果たす役割は大きいと実感している。

なお、本稿では異なる統計数値を組み合わせたために精度が低い部分がある。今後より正確な調査が期待される。

参考文献

- 環境省ホームページ
<http://www.env.go.jp/press/109850/116628.pdf> (20210810 閲覧)
- 大川聰：システムズエンジニアリングを用いた建設機械の故障解析，建設機械施工，2，6，p23-36，2020。
- 大嶋和雄：二酸化炭素濃度と気候変動史，石油技術協会誌，56，4，p300-309，(1991)
- https://www.env.go.jp/press/cfc_conf01/mat03.pdf (20210811 閲覧)
- 経済産業省ホームページ
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_taisaku/pdf/003_s03_00.pdf (20210712 閲覧)
- https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/ozone/files/freo_pamphlet.pdf (20210815 閲覧)
- 国土交通省気象庁ホームページ
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html (20210811 閲覧)
- 飯塚悟：地球温暖化研究の概要，日本風工学会誌，40，4，p375-379，(2015)
- 全国地球温暖化防止活動推進センターホームページ <https://www.jccca.org/global-warming/knowledge01> (20210811 閲覧)
- 「二酸化炭素濃度，初の410ppm突破 ハワイ観測所」CNN，05.04，(2018) <https://www.cnn.co.jp/fringe/35118686.html> (20210812 閲覧)
- 齋藤武雄：地球と都市の地球温暖化シミュレーション，日本機械学会誌，98，920，p563-566，(1995)
- 日本原子力文化財団 エネ百科ホームページ <http://www.ene100.jp/www/wp-content/uploads/zumen/2-1-2.pdf> (20210825 閲覧)
- 松岡譲，森田常幸：地球温暖化におけるモデルと予測，計測と制御，31，5，p577-585，(1992)
- https://www.jccca.org/chart/chart03_01.html (20200709 閲覧)
- 福田正己：アフリカ南部の森林火災，都市経営，2，p141-148，(2013)
- 国立環境研究所ホームページ
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210715/20210715.html> (20210809 閲覧)
- インドネシア，大量CO₂ 焼き畑で泥炭火災相次ぐ，朝日新聞，10月06日，(2007) <http://www.asahi.com/special/070110/TKY200710060259.html> (20200105 閲覧)
- 原口昭：泥炭火災と地球環境，環境と消防，3，1，p2-7，(2014)
- 西村秀和（監訳），S. Friedenthal, A. Moore, S. R. Streiner 著：システムズモデリング言語 SysML，東京電機大学出版局，p29，(2012)
- 資源エネルギー庁『平成29年度エネルギーに関する年次報告』（1918）p136，<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/> (20210730 閲覧)
- 全国地球温暖化防止推進センター「すぐ使える図表集44 日本の部門別二酸化炭素排出量（2018年度）」https://www.jccca.org/chart/chart04_04.html (20210729 閲覧)
- 新電力ネットホームページ <https://pps-net.org/industryenergy/page/4?industrykey=element11> (20210812 閲覧)
- 日本鉄鋼連盟「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組」（2021）<https://www.jisfor.jp/news/topics/docs/200911262.pdf> (20210810 閲覧)
- 横山計三「各国の建築による Embodied Impact に関する研究」日本建築学会環境系論文集，86，779号，p101-109，(2021)
- 細谷俊夫「セメント産業におけるCO₂排出削減の取り組み」コンクリート工学，48，9，p51-53，(2010)
- 兵藤彦次ほか「炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定」TAIHEIYO CEMENT KENKYU HOKOKU，179，p15-30，(2020)
- https://www.taisei.co.jp/about_us/wa/2021/210216_5079.html (20210906 閲覧)
- 渡邊賢三，横関康祐，取達剛，坂田昇「炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化技術」コンクリート工学，45，7，p31-37，(2007)
- https://www.kajima.co.jp/tech/c_eco/co2/index.html#body_02 (20210830 閲覧)
- 柳橋邦生「超高耐久性コンクリート」コンクリート工学，49，5，p122-127，(2011)
- 阪田憲次「地球温暖化時代のコンクリート技術」第94回土木学会通常総会（2008）
- https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/yoin_2018_2_3.pdf (20210812 閲覧)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100923.html (20210816 閲覧)
- 陣内 浩，杉本賢司「高耐久性鉄筋コンクリート構造と高耐久性住宅」Journal of the Society of In-organic Materials, Japan, 10, p426-431, (2003)
- 藤田正則「CO₂排出量の削減を目指した鋼構造のリユースに関する研究」2016年日本建築学会賞（論文）(2016) https://www.aij.or.jp/jpn/design/2016/data/2_laward_06_fujita.pdf (20210901 閲覧)
- 日本鉄鋼連盟ホームページ <https://www.jisfor.jp/data/jikeiretsu/syuyoukoku.html> (20210825 閲覧)
- 岡日出夫，大橋宏和，山口純一，堀長生「モルタルを内蔵したスギ集材材の燃え止まりに関する研究」日本火災学論文集，58，1，p.13-20，(2008)
- https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190723_1.html
- <https://www.nedo.go.jp/hyoukoku/articles/201705ecm/index.html> (20210820 閲覧)
- 「建設廃棄物の現状」環境省ホームページ <https://www.env.go.jp/recycle/build/genjyo01.pdf> (20210907 閲覧)
- <http://www.env.go.jp/council/former2013/04recycle/y040-25/ref03.pdf> (20210831 閲覧)
- https://www.jisfor.jp/business/lca/material_flow/index.html (20210830 閲覧)
- 「低炭素形コンクリートの普及促進に向けて」日本建設連合会，237，(2016) <https://www.nikkenren.com/sougou/10thaniv/pdf/05-06-20.pdf> (20210816 閲覧)
- <https://www.kajima.co.jp/news/press/201201/30a1-j.htm> (20210816 閲覧)
- 北海道大学ホームページ https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/210413_pr3.pdf (20210722 閲覧)
- 三木千壽「橋の寿命：プラス100年プロジェクトの提案」コンクリート工学，50，7，p7，(2012)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wildland_water_tender (20210823 閲覧)
- 後藤義明「山火事と地域環境」森林科学，24，p14-21，(1998)
- 大川聰ほか「水グリコール仕様油圧シヨベル PC300LC-6 の開発」Komatsu Technical Report, 46, 1, p36-41, (2000)
- 根岸英一「世界の森林火災と航空消火について（第2報）」環境と消防，2，1，p1-9，(2013)
- 米農務省林野部ホームページ <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/planes/maffs> (20210802 閲覧)
- 「建設機械の環境負荷低減技術指針」日本建設機械施工協会，JCMAS H016 (2002)

(2021.9.14 受付，2021.10.04 採用決定)

Countermeasure Study and Proposal for Preventing Global Warming

Satoshi OHKAWA¹

¹ Doctor in System Engineering, Editor of JCMA Construction Machinery Directory, Former Researcher of Keio University SDM Research Institute, Retired from Komatsu Ltd.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has concluded in 2021 that global warming is generated by human activity. This has caused a great deal of ripples around the world. Therefore, the author studies possible approaches to the global warming as the JCMA. Carbon dioxide (CO₂) generated in the global construction is emitted from cement manufacturing, steel manufacturing and energy supply. In order to reduce CO₂ from cement manufacturing, new cements and concrete have been developed. Japanese steel industry has the largest CO₂ emissions in the industry, accounting for about 17% of Japanese total emissions. Although there is a project of CO₂ emissions reduction during steel manufacturing, its practical use is still a long way off. For this reason, there is research to reduce CO₂ emissions by reusing the steel materials from the dismantled steel structure, and there is also a plan to build a high building using only fire-resistant laminated lumber with a small amount of steel beams. Extending the life of steel structures and concrete with reinforcing steel bar also contribute to the CO₂ reduction. An integrated CO₂ reduction construction system is required. On the other hand, the number of large-scale forest fires is increasing worldwide, which is emitted more than 20% of the world's CO₂ emissions. Since there is no fire engine for the forest fires, it is expected to be effective if a dedicated fire engine with improved construction equipment is developed and introduced in areas where forest fires occur frequently. The countermeasure can be proposed from this study using the methods and descriptions of systems engineering.