

特集

輝ける未来社会の実現を担う化学工学会を目指して —化学工学会のプレゼンス向上のために—

Information Technologyの長足の進歩と実社会への応用・実装化に象徴されるように、個別に進化した最先端の要素技術を組み合わせ、これを広く世に流布・定着させていくことにより10年20年先の工学会は、実現されよう。総合工学の雄たる本化学工学会は、正にその中心的な役割を担うことができ、また担うべきと考える。「未来の化学工学の柱が抽出できれば、それに向けて若い先生方や企業の会員は突き進める。」そんな諸々の思いを込めて、今回「輝ける未来社会の実現を担う化学工学を目指して」を企画した。

読者各位が、化学工学に対する思いを新たにされ、力強く踏み出される一助となることを願って止まない。このことが取りも直さず化学工学会のプレゼンスを向上させ、本会の会員増強の本筋に繋がるものと確信する。まずは、小宮山先生、渾身の総論からとくとご賞味あれ！（編集担当：上ノ山周）†

超大学を拠点に未来社会の実装を先導する

小宮山 宏

1. はじめに

化学工学は今後、どのように展開していくであろうか。これまででもそうだったように、対象を様々なに広げていくのが良いと考えるが、ぜひ取り上げていただきたいのが、未来社会へ向けての貢献である。化学工学はその成り立ちや特徴からして、社会との直接的関わりが強い学問だからである。

人類も日本も転換期にあり、社会の変革すなわちイノベーションを必要としている。しかしそれは化学工学だけではできないし、大学だけでもできない、大学をプラットフォームとした多様な人々の連携、それを超大学と呼ぶとすれば、超大学こそが未来社会へ向けたイノベーションの主体となり得る、化学工学はその中核を担おうというのが本稿の主張である。

2. 地球、社会、人の持続が問われている

2.1 20世紀は膨張の時代

10万年といわれる歴史の中で、わずか200年前まで、文明は極めて緩慢に発展した。ところが、19世紀に始まっ



“Hyper-University” – The Core to Achieving the Future

Hiroshi KOMIYAMA（正会員）

1972年 東京大学大学院工学系研究科化学工学専門課程博士課程修了

現在 (株)三菱総合研究所 理事長

連絡先：〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3

2018年10月22日受理

た産業革命が状況を一変させた。特に20世紀に入って一般の人々が恩恵を受けるに至り、図1に示すように、人間の活動は一気に膨張したのである¹⁾。

1900年以降、世界平均の1人あたりGDPが7倍に増加、平均寿命は31歳から72歳に伸びた。こうした人間活動膨張の結果、大気中の二酸化炭素濃度が280 ppmから400 ppmを超えた。産業革命によって、社会は豊かに、人は生き生きできるようになり、地球を変え始めたのである。

多くの人々が豊かになった一方で、変化があまりに速かったために、取り残された国や人々がいる。その人達を先進国の水準に引き上げよう、地球の問題も解決しようというのがSDGsでありパリ協定である。

サステナビリティとして問われているのは、地球、社会そして人の持続の問題である。

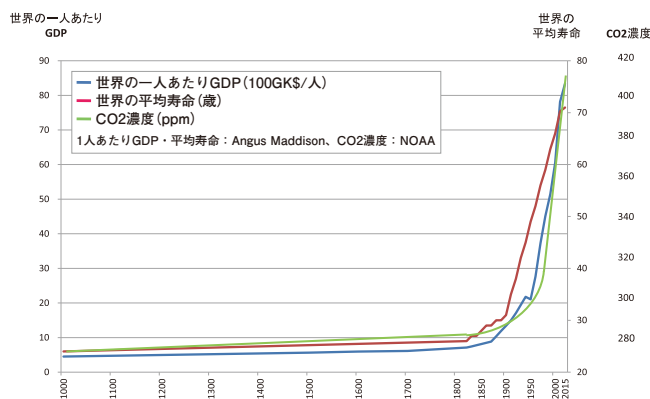


図1 20世紀は爆発的増大の時代¹⁾

† Kaminoyama, M. 平成29, 30年度化工誌編集委員(1号特集主査)
横浜国立大学大学院工学研究院機能の創生部門

表1 自動車所有台数と人口比¹⁾

| | 2007 | | 2010 | | 2016 | |
|------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | 保有台数 (百万台) | 一人 当たり 保有台数 | 保有台数 (百万台) | 一人 当たり 保有台数 | 保有台数 (百万台) | 一人 当たり 保有台数 |
| 日本 | 58 | 0.45 | 58 | 0.46 | 61 | 0.48 |
| アメリカ | 138 | 0.46 | 129 | 0.42 | 124 | 0.38 |
| イギリス | 31 | 0.51 | 31 | 0.50 | 34 | 0.52 |
| フランス | 31 | 0.50 | 31 | 0.50 | 32 | 0.50 |
| ドイツ | 41 | 0.51 | 42 | 0.53 | 46 | 0.56 |
| 中国 | 32 | 0.02 | 61 | 0.05 | 166 | 0.12 |
| インド | 10 | 0.01 | 15 | 0.01 | 34 | 0.02 |

(Data) Japan Automobile Manufacturers Association, UN WPP 2017

2.2 21世紀は飽和の時代

・人口の飽和

現在も世界人口は増え続けている。しかし、世界人口の約半分を擁する、世界で約半数の国で、すでに出生率が現在の人口を維持するに必要な値を割っている。日本がすでにそうであるように、これらの国ではやがて人口が飽和し、その後減少し始める。残り半数の国のほとんどでも出生率は低下を続けている。

1900年に16億人だった世界人口は、現在76億、最近の人口予測に依れば、今世紀末にかけて96億に達し、その後減少を始める。人口増で食料が足りなくなる懸念は、総量に関する限り起こらないだろう。出生率減少は、アンモニアを合成できるようになったため農業の増産が可能になったことと合わせ、かつてマルサスら人口と食料の関係を考察した人々が想定し得なかった状況なのである。

・人工物の飽和

人工物も飽和に向かっている。表1は、主要国の自動車保有台数と保有率を示す¹⁾。先進国ではおよそ2人に1台の保有率に達し、自動車総数は飽和している。飽和状態の新車販売台数は、飽和数/車の平均寿命である。日本なら6千万台/12年=500万台が年間売上台数である。保有台数が飽和し、新車販売数も飽和している。シェアリングエコノミーなど減少要因はあるが、増える可能性は小さい。

高度経済成長をけん引する商品は、これまでのところ自動車で最後だ。経済発展の初期にはセメントや肥料など、生活必需品やインフラ関連の物質がGDPを伸ばす。その後、電気洗濯機、電気冷蔵庫、カラーテレビなどがけん引し、最後が自動車である。国民の2人に1台位の割合で自動車を所有して飽和する頃、国は先進国となり、経済成長は鈍化する。これが先進国がこれまでにたどった軌跡だ。人口が飽和し、人工物が飽和し、販売数も飽和するという事実が、先進国の経済成長率低下の本質的な背景である。

・物質の飽和

図2は、日本における鉄の存在量と年間変動量を示す¹⁾。存在量は、自動車やビルなどの人工物に含まれる鉄の総量であり、都市鉱山の埋蔵量と言ってもよい。1960年代にはビルも自動車もほとんどなかったのが、高度経済成長期に一気に増えて現在すでに飽和に達した。その総量は14億トン、1人当たり11トンである。先進国は、いずれも同じようにほぼ飽和に達している。

驚くべきことに中国でも、現在すでに1人当たり9トン

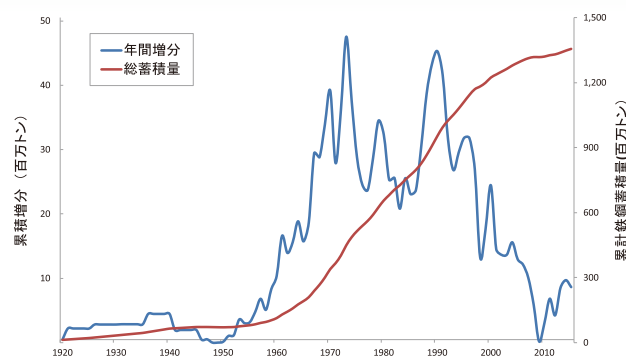


図2 日本における鉄の蓄積量¹⁾

を超えた。日本の11トンを飽和の目安とすると、2022年頃に飽和に達する。世界中が飽和に達するのは、2050年頃だろう。

つまり人類は、2050年頃には人工物の飽和という状況に遭遇する。このことは、経済社会に激しい影響を与えるに違いない。それは量的拡大に依存する20世紀型の経済にとっては悪いニュースに違いないが、地球、社会、人の持続的発展という観点からは良いニュースである。希望は量的飽和にこそある。次にこのことを明らかにしよう。

3. 21世紀地下資源は不要になる

3.1 再生可能エネルギーによる循環型社会

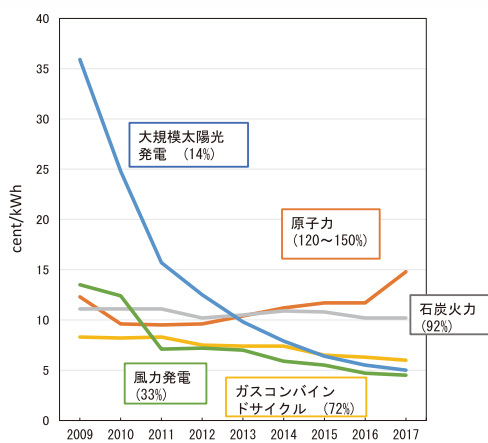
ほとんどすべての金属はリサイクルできる。事実として、鉄のスクラップは捨てられずに電炉で融解され再利用される。飽和状態とは、例えば500万台の廃車から500万台の新車を作る、既存のビルを取り壊して新しいビルを建設するという状況である。つまり、飽和した人工物からなる都市鉱山は量的に必要な十分な金属資源を供給する。

質的面では、自然界では酸素の存在下、多くの金属資源は酸化状態にある。一方スクラップは金属である。金属融解のエネルギーは酸化物還元エネルギーより小さいから、鉱石よりもスクラップの方がエネルギー面から有利である。事実、電炉は高炉に比して約3分の1しかエネルギーを消費しないし、アルミニウムでは30分の1である。

必要十分な量であることとエネルギー的な優位性が、都市鉱山が自然鉱山にとって代わる論理的根拠である。2050年に向けて、自然鉱山は次々と廃坑となる運命にあるのだ。

食料や木材など生物資源は、乱獲を避け、土壌の維持や伐採後の植林を怠らない等に留意すれば持続可能である。

日本に思いをいたせば、木材の多くを輸入に頼る先進国は世界で日本と英国のみであり、他の国は近代林業をおこなうことで輸出もしくは自給している。英国は森林資源が脆弱だが、日本は国土の3分の2を森が占める。現在の技術は傾斜地の林業を可能にする。課題は、機械類の効率的な活用、製材所やバイオマス利用の効率化などのためのスケールアップにある。この点に気が付いた福島県会津地方では、13の自治体が連携して近代林業をおこなうための組織、会津「the13」をスタートさせた。こうした動きを全国に展開すれば、自給はおろか輸出国にもなれるのだ。近代林業が始まれば、交通網が整備されるから過疎の問題解



データ出所: Lazard, Levelized Cost of Energy Analysis, November 2, 2017

図3 新設発電所からの電力コスト

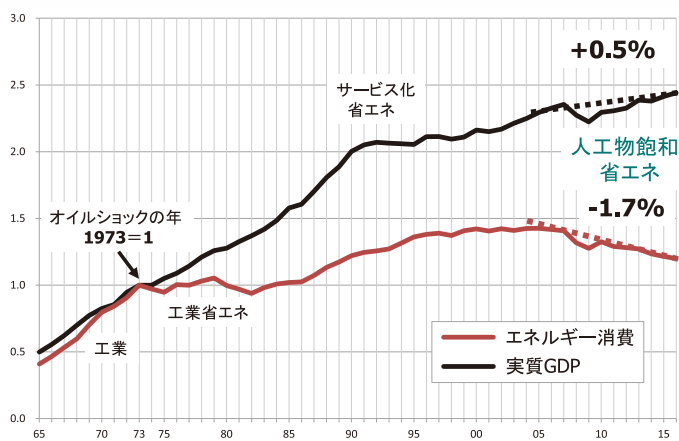


図4 日本のエネルギー消費とGDP¹⁾

決に寄与し、観光資源の活用が道が開け、土砂崩れのリスクも減る。

エネルギー資源は、地球への太陽光入射が人類が必要とするエネルギーの1万倍である点に着目すべきだ。自然エネルギーは実質的に無限なのだ。また、図3に示すように、世界では再生可能エネルギーが原子力および化石資源と比較し安価となった。この事実を反映して、新設の発電所への世界全投資額のうち、再生可能エネルギーが3分の2を占めるに至った。この傾向が逆転することは想定し難い。

人工物が飽和すると、エネルギー効率の上昇が続く結果、先進国のエネルギー消費は減少に向かう。図4に示すように、日本はすでにそのフェーズに入っている¹⁾。1973年以降GDPが2.5倍に増えたのに、エネルギー消費は22%しか増えておらず、最近10年は年率1.7%で減っている。

再生可能エネルギーに依存する循環型社会を作るとは合理的であり、経済的に有利なのである。金属資源とエネルギー資源で地下資源のほとんどを占める。したがって、21世紀は地下資源が不要となる時代なのである。

3.2 日本は資源自給国家となる

加工貿易が国の拠って立つ基盤であると教えられて久しい。たしかにそれは、20世紀には有効であった。理由は人口にして約10%に過ぎない先進国が工業を独占し、残りの国には資源しか売るのがなかったからである。しかし多くの国が工業をおこなうに至った現在、それは機能し得ないモデルなのだ。目指すべきは、資源自給国家である。都市鉱山や再生可能エネルギーの現状把握と合理的予測がそれを示している。21世紀は、資源国と非資源国といった不公平が緩和される、フラットな世界となるのである。それは、地球温暖化や資源の枯渇などに対する解でもあるのだ。

以上、世界も日本も、資源問題そして地球環境問題には合理的な解がある。実現は私達の意志の問題なのである。

4. 自己実現を目指すプラチナ社会

地球の持続に答えがあるとすれば、人と社会の持続が問題だ。人々の孤立化が進み、心の病や生活習慣病が増加している。解はあるのだろうか。

衣食住に事欠く短命な時代から、衣食住はおろか情報や

移動まで多くの人が享受できる長命な時代に入った。その時人が求めるのは自己実現であろう。物的豊かさを維持しつつ、自己実現を可能にすることがこれからの目標となるだろう。プラチナ社会はそれを可能にする社会と定義する。具体的には、自然共生、資源自給、健康長寿、生涯自立、多様性、自由などが必要条件であると考えている。

先進国では、多くの人が様々な束縛から解放された。大多数が自由を享受できる社会を人類は初めて経験している。手にしている自由を実感するには想像力を要する。江戸時代の農民は不作なら冬を越すことができなかった。その時、働き方の自由など夢にも考えなかったろう。情報は立て札、移動は徒歩だ。明治終期になっても夏目漱石が物した三四郎は、熊本から東京に入るのに少なくとも2泊している。衣食住に事欠かず、移動も情報も長寿も得て、私達は自由のための物的条件を手に入れているのである。

筆者はプラチナ社会を実現するための活動を続けて約10年、ようやく手ごたえを感じている。その中で例えば、小学生のロボット塾で、ロボットクラブの大学生が教え、退職したシニアエンジニアが助太刀する、あるいは、中学生の夏季合宿で、大学生ボランティアがグループワークを指導し、シニアが助太刀するなど、年齢や性や人種などの多様性が活気をもたらすことを経験している。多様性は効用の問題ではなく、恐らくそれ自身が価値なのである。

自由と多様性が活力の源泉であり、人と社会持続の鍵を握るのではないだろうか。

5. 超大学を拠点にプラチナ社会を実現する

地球に加えて、人と社会の持続に解があることに疑いはない。しかし放っておいて実現するわけではない。変革を主導するのは誰か。政府か、自治体か、役所か、企業か、ベンチャーか、NPOか、大学か。しかし、既存の何か機能がするのであれば、すでに問題は解決されているはずだろう。一体誰が担うのか、それが問題なのだ。

・ Center of Innovation (COI)

JSTのCOIプログラムは社会変革に成功しつつある例の一つだ。大学内、あるいは自治体のビルなどで、研究者、教員、学生、OBはもとより、大企業や地元企業、自治体や他大学など多様な人がUnder one roofで未来社会へ向け

た研究をする。成果の基準は論文ではなく、社会実装だ。全国で18の拠点があり、ビジョナリーリーダーと呼ばれる9人が伴走支援に駆け回り、構造化チームと称するグループが知の構造化を担う。資金はJSTと企業と一部は大学が負担している。こうした全体を超大学と呼ぶことにしよう。

例えば、弘前大学拠点は、健康長寿社会を目標とする。全国一短命県の汚名返上を掲げて県も全面支援だ。大学病院が毎年千人の県民から二千項目の健康診断データを15年間集め続けている。九州大学久山コホートや京都府立医科大学がデータ連携してビッグデータとし、複数の大学からデータサイエンティストが助太刀する。多くの企業が参加し、現在11企業が寄付講座を設置している。

広島大学は、感性脳モデルを媒介として基礎研究と実用化が協創している。その他にも東京藝術大学のクローン美術品や山形大学の有機半導体印刷など、18拠点の多くの研究が著しく進展し、数多くのベンチャーがスタートし、既存企業にビジネスが生まれている。

COIプログラム全体の目標は「人が変わる、社会が変わる、大学が変わる」で、日本にイノベーションエコシステムを作ることだ。COIの存在がCOI以外の基礎研究や研究者の意識に良い影響を与え、大学改革になりつつあるという声も少なくない。

COIが成功裏に進んでいる鍵の一つが構造化チームの存在だ。関連する知識を構造化し、拠点間の連携を図り、世界の最新情勢を常に把握してアドバイスをおこなう。この構造化チームの中心メンバーは化学工学の若手研究者である。20世紀にはGDP、平均寿命、人口、二酸化炭素濃度、いずれも急増したが、その伸びはたかだか数倍である(図1)。しかし、知識の増大は数桁、あるいは十数桁だろう。知識が増えたのは良いことだが、その結果全体像を把握できなくなってしまった。知識の構造化が不可欠な時代に入っているのである。化学工学はこの問題に寄与できる数少ない領域の一つであることに疑いはない。

6. 未来社会実装学

種子島に大学はない。しかし現在、19大学から研究者や学生が入って、種子島のプラチナ社会化を試みている。まさに、超大学@種子島だ。廃食用油からバイオディーゼルを低環境負荷で高効率に製造するプロセスや、九州沖縄農業研究センターを中心とした多収性で強いサトウキビの育種、未利用の地域資源を用いた低炭素なエネルギーシステムなど、種子島に必要と考えられる様々な研究を組合せ、島の未来を考える高校生のグループワークを大学生が指導する。成果発表会を公開でおこなえば市民が参加する。観光に訪れる外国人と議論する。こうした何年かの努力が積み重なると、医師会、森林組合、農協といった地域の異業種団体が協創を始める。それまで決して友好的ではなかった一市二町が、2016年プラチナ大賞優秀賞を受賞したのだが、共同応募するに至ったこと自体がイノベーションである²⁾。

超大学の活動目的は実装だが、大学人は理論化を志向する。図5にその結果を示す³⁾。物質とエネルギーとお金の流れが島の活動の把握と活性化の基本だ。数式で言えば、

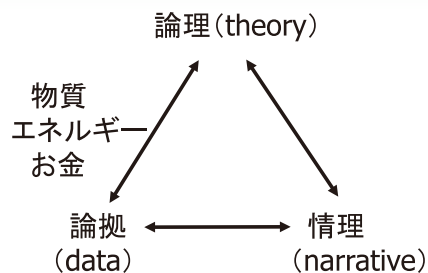


図5 未来社会実装学の構造

物質収支、エネルギー収支、産業連関表であり、それらの速度過程が基本になる。既存の化学工学はこのようにして生きる。

さらに、物質的にもエネルギー的にも改善され、お金も稼げて雇用が生まれるということ、論理で述べて、論拠を示しても実装には至らないことに研究者達は気づいた。市民が前に進むためには、情理あるいは物語が必要なのだ。論理と論拠は科学の基本的な方法論だ。しかし、それに情理が加わって初めて社会は動くのだ³⁾。この発見は、社会変化を先導する基本構造として重要だと思う。

嬉しいことに、種子島での研究を主導しているのは化学工学の若い研究者達なのだ。今後、世界中で様々な変革が志向される中で、論理、論拠、情理からなる方法論が体系化の基本構造となることを確信している。また、文理融合の必要性が叫ばれる中、具体性のある提案が化学工学の若手からなされたことを誇らしくも感じる。

化学工学はケミストリーとエンジニアリングに基づく。ケミストリーは人と人の相互作用も意味するというのはいささか我田引水にすぎないだろうか。

7. おわりに

私は、触媒反応装置の研究者としてスタートした。対象を公害の反応装置に移し、さらに半導体薄膜に進んだのは違和感のない転身だった。そして、CO₂の問題が現れた時、比喻でも誇張でもなく、私には地球が化学反応装置に見えた。そして、自動車も鉄も、その飽和は反応装置の定常状態であることに気づいた。つまり、社会を見て、自分にできそうなことをやってきたのだ。化学工学を生業とするものがたどるべき自然な道の一つを、私はたどったのだと感じている。

社会課題の多くは、実態が変化しているのに、制度が変化しないことから生じている。情報の伝達を実質無料になったこと、80歳の80%は元気であること、高校卒業後の就職者は17%に過ぎないこと、こうした実態を理解し、それにふさわしい社会を作るのだと考えれば答えは出る。そして未来社会を描き、そこへ至る道を探すのは超大学にこそできるのではないか。自分はその一翼を担えるはずだ。

そう考えて私は活動している。

引用文献

- 1) 小宮山宏・山田興一:新ビジョン2050, 日経BP(2016)本稿の内容の多くはここに記載されている。英語版はNew Vision 2050で、Springer Openから無料でダウンロードできる。
- 2) Kikuchi, Y., M. Nakai, Y. Kanematsu, K. Oosawa, T. Okubo, Y. Oshita and Y. Fukushima: submitted to Sustainability Science
- 3) 菊池康紀, 梶川裕也: to be submitted