

# 21世紀の技術予測

## Technology Forecast for the 21st Century



西村 允\*

Prof. Makoto NISHIMURA

Based on published data and my personal views, technology forecast for the 21st Century is described. The first half century will be a transition period to the post-industrialized society. Challenge to new technologies and technologies for extreme conditions will continue, while limitations from the protection of environment will be gradually but steadily strengthened. The industry will be matured in the last half century and comes the post-industrialized society. It will be tribology that plays a major role in the industry of the post industrialized society with a tail wind of energy and resources conservation, condition monitoring and minimum maintenance.

### 1. はじめに

もうすぐ21世紀に入ろうとしている。これからの100年はどんな世紀になるだろうか。すでにいろいろな予測が発表されているが、科学技術の観点から捉えたものを取り上げて、私見をまじえて予測してみよう。独断と偏見はお許し願いたい。主な出典は、科学技術庁の第6回技術予測調査「概要」<sup>1)</sup>である。

### 2. 宇宙技術の予測

私はスペースライボロジーで飯を食べてきたため、まずは専門である宇宙技術の予測を取り上げることにする。

宇宙開発は、放送、通信、気象衛星など実用面と、電離層計測ロケット、月や火星探査機など科学面の二つの側面を持っている。少し前までは、軍事衛星が衛星打ち上げ数の2/3を占めており、軍事優先であったが、現在ではすっかり影が薄くなった。その結果、商用衛星がますます重要となってきたり、衛星開発は政府主導から民間主導に変わってきている。その影響は直接的には、経済面に表われようとしている。平たくいえば、コスト勝負となりつつある。

今世紀の衛星と21世紀の衛星の違いを表1に示す。

表1 これからの人工衛星

Characteristics of tomorrow's satellite

これまで	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ローテック：高信頼性の追求 成熟した技術を採用</li> <li>* 大型衛星を特注</li> <li>* 一発必中</li> <li>* 高高度軌道</li> <li>* 寿命：10年以上</li> </ul>
これから	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 経済性追求：ハイテク採用可</li> <li>* 小型衛星を量産</li> <li>* マシンガン時代：100発98中</li> <li>* 低高度軌道</li> <li>* 寿命：数年(固体潤滑から潤滑油, グリースへ)</li> <li>* ロケット：長征3号(中国) プロトン(ロシア) 多数個を同時に</li> </ul>

今世紀の衛星は、大型、高高度軌道、一発必中、高信頼性、長寿命などの言葉でくられる。

2トンの衛星を、赤道36 000kmの高度でアンテナを日本に向けて静止させ、10年間メンテナンスフリーで使おうというのだ。したがってロケットも大型となり、衛星ともども極めて高い信頼度を要求される。一発必中を狙えといわれれば、責任者は過去に実績のある技術を優先的に使うだろう。新しい技術を使って、失敗したときの言い訳がたたないからだ。つまり、今までのロケットや

\* 法政大学 工学部 教授 工学博士

人工衛星は10年前の実績が豊富な技術に頼っており、その意味ではハイテクではなく、ローテクなのである。

21世紀の衛星はどうか。キーワードは、中・小型、中・低軌道、ほどほどの信頼度、寿命2～3年である。電話衛星を例にとると、衛星の重さは数百キロ、飛行高度は数百キロメートルである。高度が低いから、衛星1個でカバーできる面積は限られる。そこで多数個を打ち上げる。カバー面積をオーバーラップさせれば、衛星数個の故障は許容できるから、過剰な信頼性追求を避けることができる。寿命が短くてよいのも信頼度低下につながる。実は、寿命が短いのは、飛行高度が低いため、空気抵抗で衛星が数年で落ちてくるためもある。

もっともすべての衛星が小型化するのではない。一部の衛星は、より大型化し高機能化して静止軌道に残ると考えられる。

さて、信頼性を下げてよいならば、なにも実績第一で衛星部品を選ぶ必要はなく、多少のリスクを覚悟の上で、小型で高機能な新しい民生用ハイテク部品を使うことができるだろう。衛星にはハイリターンを期待する一方、ロケットには、実績があって打ち上げコストの安いロシアのプロトン、中国の長征3号などを使って、まず軌道を確保する。衛星が小型だから、打ち上げ能力に合わせて搭載個数を調整すればよい。

このような多数個衛星によるネットワーク化は、イリジウム衛星計画で昨年11月より運営に入った。モトローラ社の提案で始まったこの計画は、70個以上の衛星を打ち上げ、すでに(予想どおり?)数個が故障しているそうである。

これからの衛星開発は、ローコストでなければならない。宇宙開発事業団でも小型衛星の検討が始まっており、衛星の低コスト化および開発期間の短縮を狙った50kg衛星の具体化が進んでいる。関連して、民生品の宇宙適用性の検討も進んでいる。例えば転がり軸受関係では、「民生用真空ベアリングの宇宙適用性に関する委員会」が日本航空宇宙工業会内において発足し、宇宙開発事業団からの受託業務として、軸受メーカー3社の市販の固体潤滑軸受を真空環境下で条件を変えて試験している<sup>2)</sup>。そのなかには、ロケット打ち上げ時を模擬した振動を加えた後の軸受性能試験も含まれており、3社の軸受とも要求性能を満たした<sup>3)</sup>。筆者の知る限りでは、このような試験は世界でも初めてであり、国内軸受メーカーの高い技術水準を示している。このような動きが宇宙関連部品全体に広まれば、衛星の大幅なコストダウンが可能

となり、衛星の国際競争力増強に寄与するだろう。

21世紀の宇宙技術といっても近未来の話になったが、もう少し先はどうであろうか。Aviation Week & Space Technology誌の予想に<sup>4)</sup>私見をプラスして展望することにする。

衛星全体としては、衛星本体の構造物の重量がほぼ頭打ちなのに対して、電力供給系(太陽電池、蓄電池)および計算機(CPU周波数、メモリー)は急増し、特に計算機能力は今後、飛躍的に伸びると予想される。これは、昨今のパソコンを考えればうなずけるであろう。私のパソコンですら、3年前と比べてCPU周波数は3倍、メモリーは8倍に増加している。地上の動向は、少し遅れて宇宙に反映されるはずで、衛星の小型化を加速する。計算機能力の増加は、衛星内でのデータ処理を可能にするから、地上の負担が少なくなると考えられる。

今後20年くらいのスパンで実用に漕ぎ着けると予想される技術として、同誌は下記をあげている。

1. 電力貯蔵用フライホイール
2. 衛星の小型化  
マイクロ衛星：10～100 kg  
ナノ衛星：< 10 kg
3. 膨張構造
4. イオンエンジン
5. レーザー通信

このなかで注目すべきものとして、1, 3, 5を取り上げる。太陽電池パドルで発電された電力は現在、化学電池に蓄電されているが、これが5年程度で劣化する。フライホールならば、半永久的に電力貯蔵ができるはずである。宇宙の特徴である真空と微小重力を巧みに利用しようとするもので、真空だから気体の抵抗による減速、つまり風損は極めて少なく、微小重力だから軸受はフライホイールの重さを支えなくともよい。軸受にかかる荷重はアンバランスによる荷重だけである。たぶん磁気軸受が最適であろう。

膨張構造とは、接着剤を含浸させた筒状の織布を畳んで打ち上げ、宇宙空間で窒素ガスで膨らませる。その形を保っている間に接着剤が硬化すれば、パイプが(パイプを組み合わせたトラス構造も)でき上がる、というものである。微小重力の宇宙では、重力の影響で地上では形をなさないようなものでも構造物が作れるという、宇宙の特徴をうまく使っており、大幅なコストダウンが可能である。問題は、できた構造物の精度保持である。

レーザー通信は衛星間の大量データ輸送に用いるものであるが、アンテナの位置決め精度が鍵を握る。従来の転がり軸受では、精度保持が難しいかもしれない。

実用面におけるスペースライボロジー技術は90%完成したように思う。残されている問題は、宇宙往還機の高温潤滑、アンテナなどの高精度位置決め機構と科学衛星の分野であろう。高精度位置決めは、転がり軸受の摩擦のヒステリシスをどうするかが難しい。科学衛星では、現在飛行中の火星探査機「のぞみ」が2003年12月に火星に到着、周回軌道にはいるが、そこでのアンテナ進展がうまくいくかどうか、小惑星の土壌採取機構のライボロジー問題などである。前者は、ハードウェアキュウムに長期間曝露したあとの固体潤滑膜が、正常に作動するかどうかの問題を含むが、私は楽観的である。

そのあと宇宙開発はどう進むだろうか。次節で述べる科学技術庁の技術予測にTIMEの予測<sup>5)</sup>をプラスすると、希望的な未来図はこうなる。2014年にロケットの打ち上げによる宇宙輸送費用は、現在の1/10となり、地上-宇宙ステーションを往復するスペースプレーンの開発が2016年に行われる。人類の火星到着は2017年に実現し、低高度ではあるが宇宙観光が始まるのは、2022年だ。2025年には月に、2044年には火星に恒久有人基地が建設される。このようにみると、宇宙産業はまだまだ拡大再生産の道をたどるようだ。

### 3. 科学技術庁の技術予測<sup>1)</sup>

宇宙はまだ発展しそうだが、地上はどうか。

科学技術庁では、1971年より5年おきに科学技術の長期予測を行ってきており、1997年7月に公表されもので6回目を数える。1997年の予測結果をみると、スパンは30年程度のものであるから、21世紀の四半世紀までの予測を集めたことになる。材料、プロセス、エレクトロニクスなど16の分野別に1,072課題を集め、3,500人以上から回答を得ている。回答者は年齢的に40才台~50才台が80%を占め、研究開発に従事するものが80%である。したがって、研究開発に実績もあり経験豊富な方々の将来予測といってよいであろう。

まず課題の重要度について、上位に位置すると判定された100課題を分析すると、環境関連技術と情報(エレクトロニクスを含む、以下同様)関連技術がそれぞれおよそ25%を占めるとしている。前回調査(1991年)と比較すると、環境関連技術がやや少な目なのに対し、情報関連技術は2.4倍に増えている。これに比べると生命関連技術は半分

以下の17%に低下した。もっともこの点について報告は、ライフサイエンス分野の重要度が低下したのではなく、情報関連技術が強く意識されるようになったためと分析している。

これらに続いて災害関連技術11%、新エネルギー関連技術11%がある。新エネルギーは前回の6%からほぼ倍増している。

いずれにせよ重要な課題として認識されているのは、環境、情報、ライフサイエンス、災害、エネルギーであり、順位的にはエネルギーがもっと上位に入ってもよいように思うが、ほぼ予想どおりといってよい。

### 4. 朝日新聞が選んだ技術予測<sup>6)</sup>

上述した技術予測の中から1997年7月11日の朝日新聞に掲載されたのは、表2の各課題である。

表2 朝日新聞に掲載された主な技術の実現予想時期<sup>6)</sup>  
Estimated year of realization of main technologies selected from the Technology Assessment of the Science and Technology Agency<sup>1)</sup> and published by ASAHI newspaper<sup>6)</sup>

年	技術予測
2006	ネットワーク上の電子取引が普及
2007	エイズワクチンの開発
	オゾン層を破壊しないフロン代替品実用化
2010	効率15%を10年保つ高性能太陽電池開発
	土砂崩れや土石流の予知技術が実用化
2011	動脈硬化の発症機構を解明
2012	同時通訳なみの日英自動翻訳電話の開発
2013	アルツハイマー型病ほうの治療法開発
	がんの5年以上生存率の平均が7割以上に
2014	長期気象予報が確立
2015	埋め込み型人工すい臓、人工腎臓の実用化
2018	老化の仕組みの解明
2020	常温で超伝導になる物質を開発
2023	大地震発生を数日前に予測
	脳の推論の仕組みを解明
2025	高速増殖炉の実用化
2026	核融合炉の開発
以降	

エイズワクチン、動脈硬化、アルツハイマー、がん生存率、人工臓器など医学にからんだものが多いのは、読者の関心がここに集まると捉えたのだろうか。記者の個人的な関心が入ったようにも思える。近未来の工学系課題は、2010年の効率15%の太陽電池、2012年の自動翻訳電話くらいしか取り上げられていない。常温超伝導の2020年実現はどうであろうか。常温核融合と同じ道をたど

るような気がしないでもないが、予測調査の「概要」をみると実現しないとするものは2名しかいない。もっとも2025年に実用を予測される高速増殖炉のように、原型炉「もんじゅ」の事故でダメージをうけている例もあるから、予測は難しいものである。2023年の脳の推論の仕組み解明も楽観的すぎるような感じがする。地震予測について「概要」では、29名が実現しないとしているが、GPSの活用で地表の変位測定精度が急速に向上していることを考えると、案外早く実現するようにも見える。

### 5. TIMEの技術予測<sup>5)</sup>

1998年1月のTIMEに掲載された技術予測は表3のようである。

表3 来るべきもののかたち(抜粋)(TIME, January 1998)  
Shape of things to come

年	来るべきもの
2001	1m壁掛けテレビ
2003	モニター付き携帯電話
2005	モニター付き絵はがき、絵と音を10秒間再生
2006	スマート材料、スマート織物(分子構造にセンサーを組み込み、過大入力に警告したり、自動温度調節)
2007	衝突レーダー+熱イメージシステム+GPS付き自動車
2010	主人の声を認識しコンピュータ化された家事の可能なペットロボット
2015	遺伝子に起因するすべての病気解明
2017	火星に人類到達
2020	1000人乗り時速900kmで9000km飛べる旅客機
2022	人工子宮による赤ちゃん
2025	脳に直結するコンピュータ
2030	人工脚、人工眼
2040	核融合の実用化
2044	火星に恒久基地 ナノテクノロジーによるマイクロロボット
2500	寿命140才

2001年に予測された壁掛けテレビは、すでに実現している(日本では40型でお茶を濁しているが、TIMEはすでにメートル法を採用している)。そのあと2003年から2010年までは商品化されると思われるものが並んでいる。ただ一つ2006年のスマート材料、スマート織物はどうか。センサー機能を組み込んだこれらの材料の開発はできても、実用化、普及までは時間が掛かりそうである。電気カーペットまがいとすれば、スマート織物の実現性は急上昇するが.....

医学関係は2015年以降に出ており、2015年遺伝

子起因の病気解明、2022年人工子宮による赤ちゃん、2025年脳とコンピュータの結合と続く。工学系では、2020年に1000人乗り旅客機があるが、実現の可能性は高いと考える。これに対して2040年の核融合炉の実用化はどうか。「概要」では核融合炉の開発を2026年以降としているが、実現不可と判定している人も28人にのぼる。

2500年の人類の寿命140才はおまけみたいなものだろう。そういえば歴史学者の物集高量さんは、100才を目前にして、100才は折り返し点と豪語していた。いずれ、超高齢化時代が来るのかもしれない。

### 6. 予測実現の精度

このような予測はどの程度的中するだろうか。今回の「概要」は、1971、76年に行われた第1、2回の予測について、実現率を求めている。第1回では、全分野を通して実現率はほぼ26%(一部実現を含む実現率は64%、かっこ内は以下同様)である。第2回では実現率21%(63%)である。第1回が25年間での評価であるのに対し第2回は20年のスパンであるから、これから5年間における実現率の上昇を考えると第1回と同程度になるとみてよい。すなわち四つに一つは実現する、一部実現を加えると6割強は本当になる。

このなかでの中率の高い分野は、工業・資源における材料開発49%(78%)、宇宙開発35%(57%)、食糧農業における材料開発33%(70%)であり、逆に低い分野は交通輸送10%(25%)、エネルギー開発13%(25%)であった。もっとも一部実現を含む実現率では100%実現した医療システム、生命現象の解明があるから、第2回を含めて総合すると、材料、宇宙、ライフサイエンスは的中率が高く、エネルギーは低いということになる。

世の中には、中国の動向を絶えず見つけている中国ウォッチャー、あるいは朝鮮半島の動きに目を見張っている朝鮮半島ウォッチャーが存在する。これらのウォッチャー達は、公表された情報から未公開の情報を推測して生業としている。これと似た人たちに、技術予測ウォッチャーもいるらしい。その解析結果によれば、予測の精度は30年を越えることが落ちになるという。

予測者の年齢は40才台~50才台が80%を占める。予測の的中が問題となる30年後には、これらの人々はとくに現役を引退しており、鬼籍に入る人もいるに違いない。とすれば、30年後の予測は、まあ気楽にやれることになる。その結果として、現時点では予測不能かほとんど不可能と思われることを30年後にもってくるというのだ。

そんな目でみると、「概要」もTIMEも核融合の実現を30年先に置いているのは、ベテラン科学技術者たちの内心を反映しているように思える。「概要」でも実現しないが28人、分からないが17人と、否定ないし回答保留がかなりの数に上った。

予測を難しくしているもう一つの要因は、最近の研究開発のスピードである。

注目技術には集中投資がグローバルに行われるため、開発の早さが格段に上がっているのだ。例えば、ネットワーク上の電子取引は2006年に普及となっているが、最近の予想では、米国で2003年に自動車販売の2割、航空券の6割がネット取引となる<sup>6)</sup>。2001年に売り出されるはずの壁掛けテレビは、店頭で見かけるようになった。

このような開発のスピードアップは、グローバルな強者連合でさらに加速されている。燃料電池自動車の開発は、ダイムラークライスラー・フォード連合に続いてトヨタ・GM連合による共同作業が進む<sup>7)</sup>。こうなると、結果が出るまで5年程度ではないだろうか。2004年には先がみえるのではないか。

ともあれ、技術予測の特性曲線は、的中率25%（一部分の中を含めると60%強）、30年で急低下を頭に入れて先に進むことにする。

## 7. トライボロジー関連技術の予測

技術予測の「概要」に戻って、重要度で10位以内を実現予測年度順に並べると、表4となる。

表4 技術予測において重要度で上位10位に入った項目の実現予測年代別表(文献1より作成)

Estimated year of realization of the most important top ten technologies

年	技術予測
2003	セキュリティが高くリアルタイムの高い情報も送れる次世代インターネットの実用化
2009	商用原子力発電所の解体撤去技術が実用化
2010	効率15%を10年保つ太陽電池の実用化
2012	不用製品の回収・処理に関する製造者責任の法制化により、使用材料のほとんどを再利用できるシステムの普及 100円/W以下の太陽電池実用化
2013	10nmのパターンの量産技術実用化
2014	256Gビット/チップのメモリ実用化 ロケットの宇宙輸送費用が現在の1/10に低下
2018	非化石エネルギー(風力, 地熱, 太陽光・熱, 廃熱)が家庭, 産業, 運輸などあらゆる分野に普及
2023	M7以上の地震を数日前に予測できる技術の開発

重要な技術はエネルギー、情報関連に集中しており、6項目を数える。内訳は、太陽電池2項目、(非化石エネルギーを加えれば3項目)、LSIの小型化2項目、次世代インターネットとなる。この傾向は20位まで項目を膨らませても変わらず、又20項目中エネルギー、情報関連は11項目である。11位以降にも太陽電池は2項目入っているから、上位20位のうち太陽電池は5項目に関係することになる。見方を変えれば、太陽電池発電への期待がそれほど大きいということになる。

トライボロジー関連技術はどうであろうか。トライボロジーに関連する技術課題を重要度上位から拾うと、2016年の電力貯蔵用フライホイールおよび2017年1000Gビット/in<sup>2</sup>の磁気記憶容量を有するハードディスクぐらいしかない。

表5 各分野で注目領域として取り上げられた予測課題のうち、トライボロジーに関連する課題と実用化の年

Estimated year of realization of tribology-related technologies pick-up from various fields as worth of attention

年	トライボロジーに関連する課題
<材料・プロセス分野>	
2012	数~数十nmオーダーの成分で組織された有機・無機複合材料の実用化
2013	生体組織・器官形成を促進する人工材料の実用化
2014	細胞を高分子等の材料に固定したハイブリッド型人工臓器の実用化
<エレクトロニクス分野>	
2011	自己診断機能を有する材料・構造物への多重化されたセンシング手法の実用化
2012	センサ/コントローラ/アクチュエータをマイクロマシン技術で集積化した素子の実用化
2018	分子1個を同定できるバイオセンサの実用化
<宇宙分野>	
2008	無人火星探査機による火星表面物質の分析等の実施
2010	惑星からのサンプルリタンの実施
2014	ロケット打ち上げ費用, 現在の1/10
2020	宇宙空間太陽光発電所によるマイクロ波電力送電
2022	宇宙船による地球周辺宇宙旅行事業の実現
<資源・エネルギー分野>	
2007	新素材などによる強化と軽量化, エンジン熱効率向上などによる30%燃費アップした自動車の普及
2010	高効率ガスタービンによる大型複合サイクル発電の実用化
2011	メガワット級風力発電システムの日本での実用化
2013	大気汚染, 騒音公害のない自動車(電気自動車等)の全世界10%以上普及

(表5 つづき)

年	トライボロジーに関連する課題
	< 環境分野 >
2006	地球環境保護のための環境税導入
2007	地球温暖化の点で問題がないフロン・ハロン代替品の実用化
2012	不用製品の回収に関する製造者責任の法制化
2018	二酸化炭素の回収，廃棄物の無害化技術の普及
	< 生産・機械分野 >
2009	オングストロームやフェムト秒オーダーの計測が可能な超精密プロセス技術の実用化
2010	加工工程設計の自動化による設計データから直接加工する技術の普及
2010	ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法の普及
2011	マイクロ技術をベースとする人工物設計論の大きな変革の実現
2016	熱電変換素子による工業用熱回収システムの普及
2016	人工物設計論に大きな変革をもたらす生物機能ベースの新法則の発見
2017	水素燃料自動車や動力機関の普及
2019	分子・原子レベルの構造を制御した高機能材料・極限材料の普及
2021	太陽エネルギーと生体システムより水素を有機物から大量生産する技術の実用化
	< 交通分野 >
2006	環境基準をみたして，時速350kmの新幹線連続走行の実現
2007	窒素酸化物0.1～0.2g/kmの排出規制が可能な技術がほとんどの車種に普及( 現在重量ディーゼル車で4～5g/km )
2011	最高速度500km/hの超電導磁気浮上鉄道の実用化
2011	急速充電で200km走行できる電気自動車の普及

そこで視点を変えて，各分野で注目領域として取り上げられた予測課題のうち，トライボロジーに関連する技術で実用化が可能な段階に至ると予測されるもののみ取り上げ，トライボロジー関連産業の近未来像を描いてみた。

2007年に窒素酸化物の排出量は，大型ディーゼル車でも現在の1/10以下になる。2010年までには，フロン代替品の普及が進み，フロン問題は一段落するだろう。2016年には，炭酸ガスの回収，固定化技術が実用化される。しかしながら，環境問題はますます厳しくなり，2006年環境税が制定される。2012年には，不用製品の回収も製造者責任となる。いっぽう回収品のリサイクル，再資源化も進み，2007年にはプラスチックのリサイクル

技術が実用化される。機械の設計においても最初からリサイクルを考慮した手法が採用される。その結果，2009年には自動車部品の90%がリサイクル可能となる。

自動車については，2007年に軽量化とエンジン改良による燃費向上が進み，30%燃費効率がアップした車が普及する。電気自動車は2013年に全自動車の10%以上に普及し，2017年には水素自動車の普及も期待される。その他の交通機関では，2006年に新幹線の350km/h連続走行が環境基準を満たして実現し，2011年には超電導磁気浮上鉄道が500km/hで実用化される。

材料分野では，原子・分子の操作による構造制御を用いた有機・無機複合材が2012年に実用化され，2019年に普及段階に入る。また自己診断性を有する材料・構造材に対し，多重センシングが適用され，実用化される。マイクロマシン技術で集積したセンサー・コントローラ・アクチュエータの一体化も2012年には実用される。さらに進んで，分子1個を同定できるバイオセンサーも2018年には実用段階に入る。

生産・機械分野では，フェムト秒やオングストローム台の計測が可能な超精密プロセス技術が2009年には実用となる。これは，マイクロ技術を土台とする人工物設計法に発展するだろう。生物機能の研究から，設計法を大きく変革する新法則の発見があり，柔軟機械に結実するかもしれない。加工工程設計の自動化が進んで，設計データから直接加工する技術が普及するのも2010年頃と考えられる。そのころには，ボルト・ナットに替わる高速結合・分解法も普及しているだろう。

## 8. 脱工業化社会

前節をまとめると，21世紀には，

- \* 省エネがますます重要となり，環境破壊物質の規制も厳しくなる。
- \* リサイクル，再資源化が進むとともに，リサイクルを考慮した設計が行われる。
- \* 健全性監視によって長寿命化が進む。
- \* 極限技術への挑戦は続く。

ということになるのか。

工業製品に占めるソフトの割合が増加し，高付加価値化が急速に進むことは間違いないが，少なくとも2020年頃までは工業化社会にとどまり，脱工業化社会への転換期はこの後に来ると考えられる。

佐和隆光氏によれば，脱工業化社会は次のような特徴をもつ<sup>8)</sup>。

- (1)全就労者の75%がサービス・情報・ソフトウェアの生産に携わる。
- (2)経済成長より環境保全が重要となり、大量生産・消費型文明から循環代謝型文明へ変わる。
- (3)価値観が変わり、多様化する。集団主義から個人主義、複雑から簡素、集中から分散、効率重視から公正重視、線形思考から非線形思考へと変化する。

脱工業化社会では、工業就労者は、残りの25%に押し込まれることになる。これは工業の成熟化からくるもので、やむをえないのかもしれない。栄枯盛衰は世の習いなのだ。

そこで、成熟産業としての工業の中身をみると、一方で省資源、リサイクル、極小廃棄といった資源保護があり、これと対になって極小保守、長寿命化という現状維持がある。これに省エネルギーが加わる。言い替えると、手持ちの機械設備を、エネルギー節約に注意しながら末永く極小保守で使うとなるが、なんとこれは、トライボロジー、特にメンテナンストライボロジーの世界ではないか。

## 9. 21世紀の後半は？

21世紀の技術予測を述べてきたが、はじめの四半世紀に終始してしまった。

前半すら予測し難いのでからましてや後半は、と開き直りたいが、予測に影響する因子くらい示さないと格好が付かない。

予測を狂わせる最大の因子は、恐らく人口問題であろう。この問題は人口増と高齢化の二面からなる。2100年まで人口が100億±10%に収まれば、食糧問題は起きず、世界平和が保たれると予想される。いっぽう人口が200億に達する勢いを維持すると、南北問題や地域紛争が先鋭化し、脱工業化社会の早期実現は難しくなる。戦争は、エネルギーと資源をがぶのみするからだ。

もう一つの問題は、東南アジア、なかんずく中国の高齢化である。一人っ子政策をとる中国の高齢化は、今後急速に進むと予測される。世界人口の1/4は中国人で占められるのだから、その影響は日本の高齢化の比ではない。もっともこの問題は、現時点で予測できるので、対策を練る時間は残されている。

さて、すべてを楽観的に見て、大胆に予測すると、21世紀後半は脱工業化社会への入り口となる。工業の地盤沈下の中で浮かび上がってくるのが、トライボロジー関連技術である。時代の要請する省エネ、省資源、長寿命、極少保守は、トライボロジーによって強力にサポートされるからだ。

## 参考文献

- 1) 科学技術政策研究所：第6回技術予測調査「概要」、科学技術庁(1997)。
- 2) 平成9年度宇宙開発事業団受託業務成果報告書「民生用真空ベアリングの宇宙適用性に関する検討(その1)」,(1998)日本航空宇宙工業会。
- 3) 平成10年度宇宙開発事業団受託業務成果報告書「民生用真空ベアリングの宇宙適用性に関する検討(その2)」,(1999)日本航空宇宙工業会。
- 4) J. C. Anselmo: Aviation Week & Space Technology, January 25(1999) 56-67.
- 5) TIME 増刊号 January (1998)。
- 6) 朝日新聞 平成9年7月11日版。
- 7) 日本経済新聞 平成11年4月20日版。
- 8) 佐和隆光: 日本脱工業化への踊り場, 日本経済新聞 平成7年9月4日版。