

# JAPAN PRIZE

1986



日本国際賞 記念講演会

財団法人 国際科学技術財団

## ごあいさつ

人類の繁栄と平和は、時代を超え  
すべての人々にとって共通の願いです。  
そのために科学技術の果たす役割は  
極めて大きく、しかもその進歩は、広く世界の  
人々の創意と協力によって初めて  
達成されるものです。

「日本国際賞」(JAPAN PRIZE)は、  
この科学技術の分野において、独創的・  
飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく  
寄与し、人類の繁栄と平和に著しく貢献したと  
認められた者に贈られる賞であります。

1986年度は、アモルファス材料など  
新素材開発に多くの業績を挙げられた  
デビッド・ターンブル博士と、  
世界で初めて人工腎臓装置を開発した  
ウィレム J. コルフ博士が  
厳正なる審査を重ねた結果選ばれました。

今後の世界の科学技術を担っていかれる方々が、  
両博士による記念講演を通して  
数多くの示唆をつかんでいただければ  
幸いに存じます。

1986年4月

財団法人 国際科学技術財団 理事長  
**横田喜三郎**

# 講演会プログラム

**東京 4月22日[火]**

大手町「経団連ホール」

13:30 開場

14:00 開会

14:05 主催者あいさつ

14:10 受賞者紹介

14:15 講演  
デビッド・ターンブル博士

15:00 休憩(10分)

15:10 受賞者紹介

15:15 講演  
ウィレム J. コルフ博士

16:00 閉会

**京都 4月21日[月]**

宝池「国立京都国際会館」

13:00 開場

13:30 開会

13:35 主催者あいさつ

13:40 京都府知事祝辞

13:45 受賞者紹介

13:50 講演  
デビッド・ターンブル博士

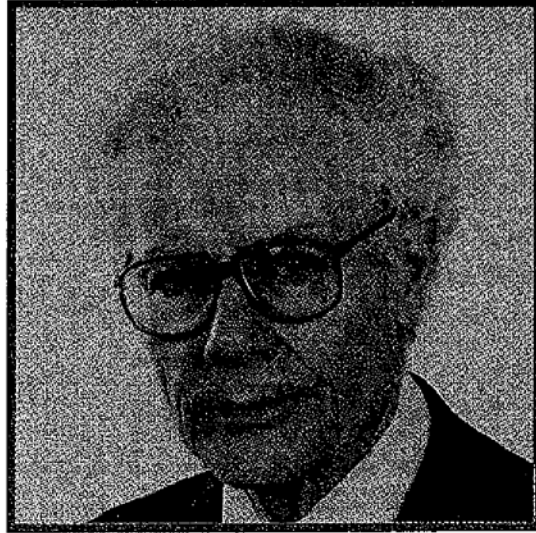
14:35 休憩(10分)

14:45 受賞者紹介

14:50 講演  
ウィレム J. コルフ博士

15:35 閉会

## デビッド・ターンブル博士



David Turnbull

ハーバード大学応用物理学教授。  
アモルファス状態への転移に関する  
理論的予見を行ない、金属(合金)、ポリマ  
セラミックス、半導体を含めて  
アモルファス材料の生成条件とその安定性  
あるいはその構造と性質に関する指導理論を  
展開した。協同研究者との実験的裏付けと  
相まって、アモルファス材料の  
製造に対して、測り知れない貢献を  
果たした。1915年生まれ。

### 主要論文

Turnbull, D.: Formation of Crystal Nuclei in Liquid Metals. *Journal of Applied Physics* 21(10):1022-1028, October 1950.

Turnbull, D. and Cohen, M. H.: Concerning Reconstructive Transformation and Formation of Glass. *Journal of Chemical Physics*, 29(5):1049-1054, November 1958.

Turnbull, D. and Cohen, M. H.: On the Free-Volume Model of the Liquid-Glass Transition. *Journal of Chemical Physics*, 52(6):3038-3041, March 1970.

Spaepen, F. and Turnbull, D.: Atomic Transport and Transformation Behavior, "Metallic Glasses, pp. 114-127, Metals Park, Ohio: American Society of Metals, 1978.

Kui, H. W.; Greer, A. L. and Turnbull, D.: Formation of Bulk Metallic Glass by Fluxing. *Applied Physics Letters*, 45(6):615-616 (1984).

## アモルファス材料の特性

[なぜアモルファスが注目されるのか] アモルファス固体に関する研究は、この30年の間に急速な進展をみた。このような発展をもたらした要因はいくつか考えられる。第1に、秩序立った固体、すなわち結晶固体についての理解がめざましい進歩を遂げた結果、無秩序な形態の解明という問題が、科学における大きなテーマとなったことである。第2に、かつてはガラス状態（アモルファス状態）として存在できるとは考えられなかった材料（たとえば金属合金）が、実際に存在することがわかったからである。第3に、これらの新材料の中に、技術的にみてきわめて重要なものが含まれていたからである。

[アモルファス固体は凝集力の種類によらず存在可能である] 故ポール・デュエと、彼の弟子たちは、ある種の金属を溶かして急冷すると、それがガラス状態になることを発見した。現在では、アモルファス固体の形成にとって本質的に重要なものが、いわゆる凝集力ではないことが明らかになっている。したがって、凝集力が、共有結合、イオン結合、ファン・デル・ワールズ結合、金属結合のいずれであっても、アモルファス状態を実現できることがわかっている。

[アモルファスは結晶より不安定] これまでの経験から、すべての物質は、均質あるいは相分離した結晶状態よりも、アモルファス状態の方が安定性が低いことがわかっている。したがって、アモルファス固体を形成して、それを持続させておくためには、熱力学的に安定な結晶化への過程を避け、結晶になることを抑えこまなくてはならない。

[アモルファス作製の基礎的過程] アモルフ

アス固体のように、原子や分子の配列がいわば“凍結された”状態を作るには、次のような3つのステップが必要になる。(1)まず、融解、溶解、高周波加熱、冷間加工などによって、材料をエネルギーの高い状態にする。(2)次に、その材料を、急冷、あるいはある種の凝縮過程によって、エネルギーの低い状態にする。(3)そして、準安定な状態が形成されたならば、今度は運動学的にも準安定な状態にとらえておくため、さらにエネルギーの低い状態へと移してやる。

このような方法でエネルギーを下げると、系のとりうる状態はただ1つではなく、いくつかの可能性が生じる。このとき、運動学的には、より安定な状態よりも準安定状態の方をとりやすい、という状況が生まれる。実際、これまでの経験から、通常は運動学的に準安定状態の方をとる場合が多いことが判明しており、そのような準安定状態は、エントロピーが最初の状態と非常に近いものであることが確かめられる。

なぜかという、このような準安定状態へ移行する際、原子の並べかえは最小限にすませることができ、したがって、それに伴うエントロピー変化も最小限でよいからである。つまり、上で述べたような準安定状態が、運動学的にも最も起こりやすい状態となるのである。このように考えると、“原子の並べかえを最小限にすませる”という原則が、原子構造の変化における運動学的な方向を決めるカギになる、との見方をしてもよいだろう。

アモルファス固体は、結晶構造をこわすことによっても作られる。逆にいうと、結晶はアモルファスの中の原子の並べかえによって

原子間の短距離秩序をとり戻すことにより、作られるわけであるが、“原子の並べかえを最小限にすませる”という原則によれば、運動学的にはアモルファスの方が結晶より起こりやすいということになる。しかし、実際にアモルファスを作るといって、なかなかむずかしい問題が起こってくる。というのは、原子を運動学的にとらえておくことが困難であったり、また、結晶化を進めてしまうような熱力学的な要因が大きすぎることもあるからである。

[アモルファスに対する理論的モデル] 共有結合物質、半導体、金属など、さまざまなアモルファス固体の構造を説明するため、各種のモデルが提案されているが、それらは驚くほど似かよっている。こうしたモデルには3つのタイプがある。すなわち、微結晶モデル、連続ランダム・モデル——たとえば連続ランダム・ネットワーク (CRN) や稠密ランダム充填 (DRP) ——、アモルファス・クラスター・モデルである。

微結晶モデルが受け入れられない大きな理由は、溶融物やガラスの結晶化が、常に、結晶粒の粗大化ではなく、結晶核の形成と成長によって起こるからである。さらにいうなら、ガラス形成物質では、過冷却を十分行なわない限り、結晶核が測定にかかるほどの大きさにまで育たないのである。これにひきかえ、結晶成長は、普通、ほんのわずかな過冷却で簡単に測定可能な速度になってしまう。溶融物は、たとえそれが単原子組成のものであっても、結晶核の形成に対して強い抵抗を示す。このことから、3次元の結晶は、一般に、溶融物やガラスにおける原子の短距離秩序性に

関して、何らかの本質的な並べかえが伴わなければならないことがわかる。

このことは、連続ランダム・モデルやアモルファス・クラスター・モデルの結晶についても同じことがいえる。また、X線回折のデータから推定されるガラスの対分布関数は、一般に、微結晶モデルよりも、連続ランダム・モデルやアモルファス・クラスター・モデルの方にうまく合っている。

[ガラス転移温度についての考察] レオロジ-的、熱的、容量分析的に示される構造緩和や溶融物-ガラス転移についても、アモルファス固体の多くのタイプについて非常に似かよっている。結晶化に対する溶融物の運動学的な抵抗が、溶融物-ガラス転移温度とともに急速に増加することは理論的に示されているし、経験的にも確認されている。この場合、温度は  $T_{rg} = T_g/T_i$  と定義され、 $T_g$  は実際の転移温度、 $T_i$  は熱力学的な結晶点である。 $T_i$  と  $T_g$  の間の準安定な範囲では、結晶成長率は通常の場合、かなり高い。したがって、溶融物を冷却してガラスにするには、この範囲内で、結晶核形成の頻度を無視できる程度にすることが、本質的に重要である。

ケイ酸ガラスやカルコゲン・ガラスのような普通のガラスでは、大量の溶融物をゆっくりと冷却しており、 $T_{rg}$  は0.65あるいはそれ以上になる。これとは対照的に、金属ガラスを形成する溶融物は、結晶化に対してずっと敏感であり、溶融物の  $T_{rg}$  の値がずっと低いことを示している。報告されたものでは、0.45から最高0.67の範囲にある。

さらに、溶融・冷却過程によるにせよ凝縮によるにせよ、金属アモルファス固体を形成

するには、非金属ガラスとは対照的に、かなりの程度の均質相不純物が混合していることが、絶対に必要である。純粋なアモルファス金属では、結晶成長を抑制することができない、という証明は多数ある。

ところが不純物の入った金属の場合には、急冷を上手にすれば不純物が並びそろってしまふというような事態を避けることができ、したがって全系がアモルファスのままにとどまることが可能になる。このように金属アモルファスを作るには、不純物の存在が不可欠なのである。また、こうした不純物の添加によって、液化温度が大きく下がり、金属ガラス形成はよりしやすくなる。液化温度の低下をもたらす一般的な効果は、 $T_{rg}$ を上昇させることである。というのは、 $T_g$ は普通、不純物の濃度にはほんのわずかしき依存していないからである。

[アモルファス材料の技術的利用] アモルファス固体のきわ立った特徴は、タイプの異なる材料でも非常によく似ているが、アモルファス固体の技術的利用となると、材料の種類によってかなり違ってくる。共有結合絶縁ガラスが広く使われるのは、絶縁作用だけでなく、透明度がきわめて高い理由による。カルコゲン化合物やアモルファス・シリコンのようなアモルファス半導体では、光電子（オプトエレクトロニクス）的な反応がきわめて有用である。鉄ベースのアモルファス金属は、優れた軟磁性を示し、トランスの芯材としてきわめて重要になっている。またアモルファス金属の中には、きわめて高い耐食性を示すものがあるが、それは、おそらく、アモルファス金属が構造的にも組成の上でも、きわめ

て均質だからであろう。

こうした特性は、ほとんどのアモルファス合金にみられる機械的な強さとあいまって、金属ガラスの技術的重要性が今後とも増大し続けるであろうことを示唆している。

# THE FORMATION AND NATURE OF THE AMORPHOUS SOLID STATE

The rapid growth of research on amorphous solids during the past three decades has been motivated, partly by the scientific challenge posed by highly disordered systems, following notable advances in the understanding of well ordered solids; partly by the discovery of glassy or amorphous solid forms of materials (e. g. metallic alloys) which were thought incapable of existing in such forms; and partly by demonstrations that some of these new materials may prove to be very important technologically. With the discovery, by the late Pol Duwez and his students, that certain metals can be melt quenched to glasses, it is now clear that amorphous solid formation is not limited by the nature of the cohesive forces *per se* but can be exhibited by materials bound by any type of such force—whether it be covalent, ionic, van der Waals or metallic.

Experience shows that all materials are less stable in amorphous solid than in some crystalline form, which may be homogeneous or phase separated. Therefore, for an amorphous solid to form and persist a thermodynamically preferred crystallization process must be bypassed and suppressed.

The general procedure for forming a configurationally frozen metastable state, such as an amorphous solid, might be described as a sequence of the following three steps: (1) energization of a material by, e. g., melting, dissolution, irradiation, or cold working; (2) deenergization of the material by quenching or by some condensation process; and (3) further deenergization to kinetically trap the metastable state, if formed. The deenergizing step may expose several thermodynamic options and to appear a metastable state must be kinetically preferred to the more stable one. Actually, experience indicates that metastable states usually are kinetically preferred and they are often the states with entropy nearest to that of the initial one. It is the step of least entropy change which will generally require the least reconstruction and it is, thus, likely to

be most favored kinetically. We might say that a principle of "minimum reconstruction" usually dictates kinetic preference in structural evolution.

Since an amorphous solid can form by structural collapse, while crystallization is generally reconstructive of the atomic short range order, it seems by the minimum reconstruction principle that the amorphous should always be kinetically preferred to the crystalline solid. However the amorphous solid often may be hard to form because it is difficult to trap kinetically or the thermodynamic factors favoring crystallization may be too large.

The models which have emerged for describing the structures of the different classes of amorphous solids—covalent, semiconducting, and metallic are remarkably parallel; they are of three types: microcrystallite, continuous random—e. g. the continuous random network (CRN) and dense random packed (DRP), and amorphous cluster models. A major stumbling block to acceptance of the microcrystallite models is that the crystallization of melts and glasses always occurs by crystal nucleation and growth rather than by grain coarsening. Further, glass forming melts must be deeply undercooled before homogeneous nucleation becomes measurable, though crystal growth generally proceeds at easily measurable rates at small undercooling. The high crystal nucleation resistance of melts, even monatomic ones, strongly suggests that 3-dimensional crystallization generally must be attended by some essential reconstruction of the atomic short range order in the melt or glass, as would be needed for crystallization of continuous random or amorphous cluster structures. Also the pair distribution function of glasses, deduced from diffraction data, are generally in much better accord with the latter than with the microcrystallite type models.

The structural relaxation and melt  $\rightarrow$  glass transition—as exhibited rheologically, thermally, and volumetrically—behaviors of the



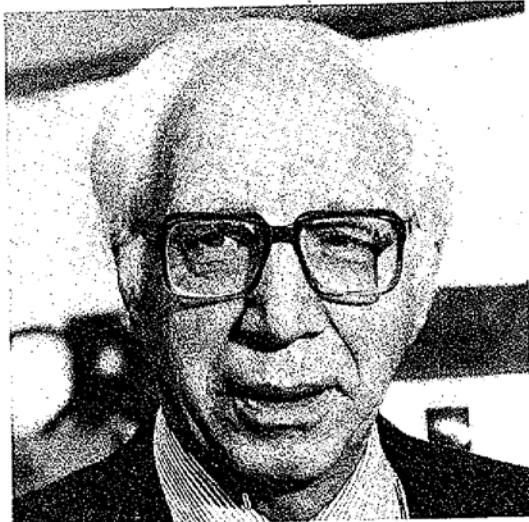
several types of amorphous solids are also quite similar. Theory indicates and experience generally confirms that the kinetic resistance of melts to crystallization increases sharply with the scaled melt  $\rightarrow$  glass transition temperature, defined by  $T_{rg} = T_g/T_1$ , where  $T_g$  is the actual transition temperature and  $T_1$  is the thermodynamic crystallization point. In the metastable range between  $T_1$  and  $T_g$  crystal growth rates are usually appreciable and often high, so to quench a melt to a glass it is essential that the nucleation frequency be negligible throughout this range. The common glasses—e. g. silica based, chalcogenides—formed by the slow cooling of large liquid masses exhibit  $T_{rg}$ 's of 0.65 or more. In contrast, metallic glassforming melts are much more susceptible to crystallization, reflecting that their  $T_{rg}$ 's are usually considerably lower; those reported range from 0.45 to a high of 0.67. Also, in contrast with nonmetallic glasses, considerable homophase impurity admixture has proven essential to the formation of metallic amorphous solids, either by melt quenching or condensation. There is much evidence that crystal growth in pure amorphous metals is quench insuppressible. Thus, a thermodynamic requisite for impurity redistribution, by partitioning or local reordering, which is quench suppressible, is a necessary condition for amorphous solid formation by metals. Also, metal glass formation is favored by those impurity additions which markedly depress the liquidus temperature; the general effect of such depression is to elevate  $T_{rg}$  since  $T_g$  is usually only weakly dependent on impurity concentration.

While the distinguishing characteristics of the amorphous solid state are quite similar for the different types of materials, the technological uses of amorphous solids vary considerably with material type. Covalent insulating glasses are heavily used because of their remarkable transparency, as well as for their insulating behavior. Amorphous semiconduc-

tors, such as chalcogenides and amorphous silicon, are very useful because of their optical-electro responses. The ferromagnetic metallic glasses are exceptionally soft magnetically and are finding important applications as transformer core materials. Some also have shown exceptional corrosion resistance, presumably due to their structural and compositional homogeneity. These properties, in combination with the exceptional mechanical strength with some ductility of most of the alloys, suggest that the technological importance of metallic glasses will continue to grow.

## ウィレム J. コルフ博士

Willem J. Kolff



ユタ大学教授。回転ドラム型人工腎臓装置を開発し、これを用いて、世界最初の人工腎臓による尿毒症患者の治療を行ない臨床的成功を収めた。また、効果が確実で操作が容易なディスポーザブル型の装置を製作し、人工腎臓の実用・普及に大きな業績を残した。現在もなお人工腎臓をはじめとする人工臓器全般にわたる世界的指導者として活躍している。1911年生まれ。

### 主要論文

Kolff, W. J. and Berk, H. Th. J.: The Artificial Kidney: A Dialyzer with a Great Area. *Acta Medica Scandinavica*, 177:121, 1944.

Kolff, W. J. and Page, I. H.: Persistence of Experimental Renal Hypertension after Total Nephrectomy in Dogs. *Amer. J. Physiol.* Vol. 182, No. 3:531-536, 1955.

Miller, E. W.: Kolff, W. J. and Groves, L. K.: Experimental Coronary Artery Surgery in Dogs Employing a Pump Oxygenator. *Surgery*, Vol. 45, No.6 1959.

Kolff, W. J.: Update on Artificial Organs, Cardiovascular Diseases, *Bulletin of Texas Heart Institute*, Vol. 2, No. 3:273-284, 1975.

Kolff, W. J.: Many Obstacles Overcome in Development of the Attachè Case Kidney Machine. Guest Editorial in *Journal of Contemporary Dialysis*, Vol. 4, No.1:3, January 1983.

## 人工臓器の将来と人間

[人工腎臓] 第二次世界大戦が始まったばかりのオランダで、私は人工腎臓を作るためにセロハン・チューブ（人工ソーセージ皮）を購入した。最初の患者（複数）の治療は戦争中に行なわれたが、患者の生命が人工腎臓によって救われたのは1945年のことだった。私は人工腎臓をロンドン、ニューヨーク、モントリオール病院に提供した。これらの人工腎臓によって、オランダ人以外の人々にも、血液透析による治療が可能であることが証明された。

私たちは現在も小型で持ち運びのできる人工腎臓を作っている。全世界で25万人にのぼる人工透析を受けている人々が、自由に旅行をし、余暇を楽しめるように願っているからである。人工腎臓の数が限られていた1960年頃は、数少ない人工腎臓を使って治療を受ける人を決めるため、“生死委員会”があちこちに設けられたものだった。今日、米国では、末期段階の腎臓病のために36億ドルの費用が投じられており、60年頃と同じ問題が形を変えて頭をもたげてきている。すなわち、“コスト抑制”という名の下にである。

市民同胞を治療するのに十分な資金がないのは、軍備のための出費が大きすぎるからである。1986年の軍事予算要求は3200億ドルに達している。財政赤字が1800億ドルになろうと予測されている時にである。社会福祉予算を削減することは残酷であろう。しかし、科学や産業における研究のための資金を軍事研究にまわせば、米国の産業の生産性は、他の諸国とりわけ日本に比べて、はるかに低下するだろう。

[人工心肺装置とポンプ型酸素供給器] 人工

腎臓の中をまわっている青い血液が、赤くなっていくことを、はっきりと目にすることができた。明らかに、血液が酸素をとり込んだからである。このことは膜型肺（膜型酸素供給器）を作る方法を示してくれたのである。私たちは、ツインコイル型人工腎臓からセロハン・チューブをひき出し、その代わりにポリエチレン膜を採用したのである。現在、米国では年間12万人が人工心肺を使った心臓切開手術を受けている。このうちの半数は、膜型肺を使って行なわれている。

酸素供給器はまた、肺機能不全の多くの人人を救うことができる。もし数発の核爆弾が都市に投下されたら、肺が焼け焦げて死ぬ人の数は5万人にのぼるだろう。しかし、そのような状況下では、人工肺の使用に関心を持つ人はいないだろう。

[核の冬] 生き残った人は、なんとかして都市を脱出しようとするだろう。しかし、都市の外に逃れても、あるものは暗い空、低い気温、全滅した農作物、燃えさかる森である。私たちはこうした厳しい環境から自分たちを守ることはできないし、それはロシア人も同じである。身を隠すところはどこにもない。しかしそれにもかかわらず、人類は依然として1日に8発の割合で核弾頭を作り続けているのである。いったいなぜなのだろう。

[人工心臓] 1957年、阿久津哲造博士と私は、西側世界で最初の人工心臓を作り上げた。近い将来、人工心臓は主として心臓移植への橋渡しとして使われることになるだろう。しかし、移植に必要な心臓の提供者は、決して十分な数に達することはないだろう。米国だけでも、心臓の取り換えを必要とする人は、毎

年3万5000人に達するだろう。もちろんこの数は、第二次世界大戦で死んだロシア人2000万人、日本人200万人に比較すればずっと小さな数である。

[核火力] 広島と長崎に落とされた爆弾も含め、第二次大戦中に使われた火力の総計は3メガトンだった。今日、米ソ両国は、それぞれ1万8000メガトン、すなわち第二次大戦中の全破壊力の6000倍の破壊力を保有している。トライデント型潜水艦1隻が保有する破壊力だけで24メガトン、すなわち第二次大戦中の全破壊力の8倍に達する。これは北半球の主要都市をすべて破壊できる力である。にもかかわらず、米国は1990年までにさらに9000発の核弾頭を作る計画を立てている。

[人工眼] 人工眼は、大脳皮質視覚野を直接刺激することによって、盲目の人に光の点の動きを認識できるようにしたものである。しかし実用にはまだ何年もかかるだろう。

[人工耳] 人工耳は耳のまったく聞こえない人でも、しゃべっている人の顔を見ることができれば、通常に近い会話ができ、電話で話すことさえできるところまで進歩した。

[平和のためのコミュニケーション] 世界の6人の指導者が同時に参加して、スペースブリッジを使った素晴らしいコミュニケーション・システムの実演が行なわれた。この6人は、アルゼンチンのアルフォンソ、インドのガンジー、メキシコのドラマドリド、タンザニアのニエレレ、スウェーデンのバルメ、ギリシャのパパンドローで、彼らが「戦争を超える賞」を受けた時のことである。7個の衛星が同時に使われた。この種のコミュニケーションは、核の危険を減少させるためのセンター

を設置するのに利用すべきである。これらのセンターは、偶発による核兵器の発射を説明し、誤った情報の誤った解釈を防止するために、ワシントン、モスクワ、中国、日本に設置する。

[人工臓器] 本物の人工臓器といえるものはまだ完成していない。しかし、インシュリンをSPAD（皮下腹膜アクセス装置）を通して腹膜腔に注入することができる。インシュリンはそこから門脈を通過して肝臓に行く。インシュリンを施すべき所はここである。抑制のむずかしい若年性糖尿病は、これにより大いに改善できる。糖尿病による腎障害で、その腎障害の進行が止まったか、もしくは改善された初期の腎臓病患者がいるのは、世界でもわれわれのところだけだと思う。私たちは、若年性糖尿病の患者の併発症は、遅らせるか予防することができるかと信じている。第二次大戦中、私は、インシュリンが十分になかったので絶食療法を施されていた糖尿病患者でいっばいの病棟を担当したことがある。彼らは戦争が終わるまで生きながらえたのである。[世界的な飢饉] 核戦争が起これば、以上のようなことは、すべて期待してもしかたのないことになる。私たちが持っているもの、知っているものすべてが破壊されてしまうだろう。あるのは、世界的な飢饉であり、すでに述べたような核の冬である。

今こそ米ソ両国が合意に達すべき時である。両国の破壊力はおおよそ均衡している。相手とほぼ同じレベルにある時には合意への期待が持てるが、どちらかがはるかに上にある時には、そのような希望は持てない。今こそが好機なのである！

[温室効果] 核兵器には誰もが反対すべきだとしても、エネルギーのための原子炉は受け入れざるをえないだろう。日本にはすでに24基あり、さらに13基が建設中、7基が計画段階にある。化石燃料の大量使用は、酸性雨と森林や農作物のオゾン破壊をもたらす。これは、世界中の熱帯林の伐採と二酸化炭素合成の消滅と相まって、大気中の二酸化炭素を増加させ、温室効果をもたらす。この結果、太陽熱がCO<sub>2</sub>の層の下にこもり、北極、南極の氷が溶け、日本の沿岸部の平地は水びたしになってしまうだろう。

日本は世界で第2位のGNP——1兆2000億ドルを誇っている。その工業生産は、世界で最も急速な成長を遂げている。日本は、これからの20年間、核エネルギーの平和利用におけるリーダーにならなくてはならない。

私たちが蒸発してしまうのだとしたら、人工心臓はいったい何の役に立つというのだろうか。

# THE FUTURE OF ARTIFICIAL ORGANS AND OF MANKIND

*Artificial Kidneys*: At the beginning of World War II, in the Netherlands, I purchased cellophane tubing (artificial sausage skin) to make artificial kidneys. During the war, the first patients were treated, but in 1945, one patient's life was saved with the artificial kidney. I gave artificial kidneys to hospitals in London, England; New York City and Montreal, Canada. With these artificial kidneys, it was proven that people other than the Dutch, could also be treated with hemodialysis.

We are still making small, wearable artificial kidneys so that some of the 250,000 people who are now sustained by dialysis worldwide, should be able to travel and have vacations. Around 1960 when there were not enough artificial kidneys, life and death committees were set up in the United States to select the few that could be treated. Presently, with 3.6 billion dollars spent on end stage renal disease in the United States, this problem is raising its ugly head again under another name—"Cost Containment."

If we do not have enough funds to treat our fellow citizens in need, it is because we are spending too much on defense. Three hundred and twenty billion dollars have been requested for defense in 1986 while they are predicting a deficit of one hundred and eighty billion dollars. By diverting money from social programs, we may be cruel, but by diverting money from research for science and industry, to research in defense, the increase in industrial productivity in the United States, will fall far below that of other countries, particularly as compared to Japan.

*Heart-Lung Machines and Pump Oxygenators*: It could be clearly seen that blue blood going through the artificial kidney, became red. Obviously, it took up oxygen. This indicated the way to make membrane oxygenators. We pulled the cellophane tubing out of our twin coil artificial kidneys and put in polyethylene membranes. Presently, 120,000 people are treated in the United States per

year with open heart surgery, using heart-lung machines. One-half of these are treated with membrane oxygenators.

Oxygenators can also save a number of people from pulmonary insufficiency. If a few nuclear bombs manage to hit our cities, fifty thousand people will die from scorched lungs. However, under those conditions no one will be interested in the use of artificial lungs.

*Nuclear Winter*: Those who survive will desperately try to leave the cities, but outside, they will find a nuclear winter with dark skies, low temperatures, dead crops and burning forests. We cannot defend ourselves; the Russians cannot defend themselves. There is nowhere to hide. Yet, we continue to produce 8,000 nuclear warheads every day. *Why?*

*Artificial Heart*: In 1957, Dr. Tet Akutsu and I made the first artificial heart in the Western World. In the near future, the artificial heart will be used mainly as a bridge to heart transplantation, but there will never be enough donor hearts to fulfill the needs. There will be 35,000 heart replacements per year in the United States alone. Of course, this is a small amount, compared to the twenty million Russians and more than two million Japanese who were killed in World War II.

*Nuclear Fire Power*: The total fire power in World War II, including the bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki, was three megatons. The United States and the Soviet Union each have a destructive power of 18,000 megatons which is six thousand times the total destructive power of World War II. One Trident submarine has a destructive power of 24 megatons, equaling eight times the destructive power of World War II—enough to destroy every major city in the Northern Hemisphere. Yet, the United States is planning to build 9,000 more nuclear warheads before 1990.

*Artificial Eye*: The Artificial Eye makes it possible for blind people to see silvery points of light by direct stimulation of the visual cortex of the brain, but it will not be available

for many years.

*Artificial Ear* : The Artificial Ear has now advanced to the point where a number of totally deaf people can have a near normal conversation if they can see the speaker's face, and many of them can communicate over the telephone.

*Communication for Peace* : A superb communication system was demonstrated by the space bridge with the simultaneous participation of six World leaders—Alfonso from Argentina, Gandhi from India, de la Madrid from Mexico, Nyerere from Tanzania, Palme from Sweden and Papandreu from Greece—when they received The Beyond War Award. Seven satellites were used simultaneously. This type of communication should be used to establish nuclear risk reduction centers—to be set up in Washington, D.C.; Moscow, Russia; China and Japan so that accidental firing can be explained, and misinterpretation of wrong information can be avoided.

*Artificial Pancreas* : We do not have a true artificial pancreas, but we can administer insulin via the SPAD (Subcutaneous Peritoneal Access Device) into the peritoneal cavity, from where it will go via the portal veins to the liver. This is where insulin should be delivered. Juvenile diabetics who are difficult to regulate, can be much improved. I believe we have the only patients in the world with beginning renal failure on the basis of diabetic nephropathy where the nephropathy has either been halted or even improved. We believe that many of the dire complications of juvenile diabetes can be delayed or averted. During World War II, I had a ward full of diabetic patients maintained on a starvation diet because we did not have enough insulin. Indeed, they lived until the war was over.

*Worldwide Famine* : In case of a nuclear war, anything like this is hopeless. There will be total destruction of all we have and of all we know. There will be worldwide famine and as I said, Nuclear Winter.

Now is the time for the United States and Russia to reach an agreement. Their destructive powers are about in balance. You can hope for an agreement when you start on almost equal footing, but not when one is far superior. Now is the time!

*Greenhouse Effect* : Although we should all unite against unclear weapons, we probably have to accept nuclear reactors for energy. Japan has 24; thirteen are under construction and seven more are planned. The immense use of fossil fuel leads to acid rain and ozone destruction of forests and crops. This, combined with the cutting of the world's tropical forests and elimination of CO<sub>2</sub> synthesis, will lead to increased CO<sub>2</sub> of the atmosphere and the greenhouse effect. It will trap the heat from the sun under the CO<sub>2</sub> blanket. The polar ice caps will melt. All the coastal plains of Japan will be flooded.

Japan has the second largest Gross National Product in the world—1.2 trillion dollars. Japan has the fastest growing industrial productions in the world. Japan shall be the leader in peaceful use of nuclear energy within the next twenty years.

What good will an artificial heart do us if we are all vaporized?