

＜別紙 1＞

2018 年度 C&C 賞受賞者 業績と略歴

■ グループ A : 西森 秀稔 (にしもり ひでとし) 教授

量子コンピューティングは、量子力学的現象である重ね合わせや量子もつれ等を動作原理に用いた計算手法です。代表的な量子コンピューティング手法としては、量子アルゴリズムに基づき従来の論理ゲートに代わる量子ゲートで計算を実行する方式と、イジング模型等の統計力学上の物理モデルによって最適化問題を解く量子アニーリング方式が知られています。量子コンピューティングでは、量子ビットにおける重ね合わせ状態を利用して情報を扱うことにより超並列性ひいては高速性を実現できるとされており、その画期的な特徴を活かした計算力をもとに材料開発や組合せ最適化、さらには人工知能開発などへの応用が期待されています。

西森秀稔教授は、量子アニーリングと呼ばれる自然界の物理現象を利用した独創的な方法によって、組合せ最適化問題などの困難な問題を高速に解くことのできる、量子計算モデルの提唱者として知られます。その後の画期的な計算機の開発につながるこの量子アニーリングの基礎理論の構築は、統計力学という異分野の研究の中から導き出されました。教授は、統計力学の中心的課題である空間的に非一様な系の代表例として知られるランダム спин系に生じる現象に関する研究を長らく続け、相図上で西森線と呼ばれる、厳密で解析可能な特別な領域を見出しました。この成果は当該分野での金字塔の一つと位置づけられています。この西森線は、現在では情報理論においても重要な役割を果たすことがわかっており、ランダム спин系と西森線の特性を活かした誤り訂正符号の提案など、教授の情報理論分野での貢献にも顕著なものがあります。そうした研究の中で生まれたのが、1998 年に指導学生の門脇正史氏と共同で発表した量子アニーリング (QA ; Quantum Annealing) です。教授は、上向きと下向きの 2 つの状態を確率的に取る粒子が周囲の粒子とランダムな相互作用をする磁性体の数理モデルの研究を通じ、このような系の最小エネルギー状態を求める問題は情報科学分野で重要

な組合せ最適化問題の一般形にもなっていることを見出しました。

組合せ最適化問題は情報科学分野の中心的研究課題の一つですが、その汎用的な解法として統計力学手法をもとにしたシミュレーテッドアニーリング(SA: Simulated Annealing)が 1980 年代の古くから知られています。最小エネルギー問題を解く際に、SA では熱ゆらぎを利用してある確率でエネルギーの高い中間状態を乗り越え、その先にあるより低いエネルギー状態を探索します。一方、西森教授が提唱した QA では熱ゆらぎに代わり量子ゆらぎを導入し、そのトンネル効果によって極めて高速に、より低エネルギー状態に遷移させることを可能とします。この特徴を定性的に見れば、QA の方がより低エネルギー、すなわち最適解への到達可能性を高められるものと考えられます。さらに教授は、ランダムスピン系研究の代表的課題であるスピングラスの基底状態探索問題での知見をもとに、最適化問題をポテンシャルとみなし、量子力学的な遷移項すなわち量子ゆらぎの制御によって解を求めるに取り組みました。そして、解くべき系に作用させる量子ゆらぎの効果を非常に大きな状態から零に漸近させることで、系は最終的に最小エネルギー状態を示す統計力学上のモデルの安定状態に収束し、その収束した結果は組合せ最適化問題の解に相当するという量子アニーリング計算モデルの基本概念を導きました。その後、教授は網羅的な数値実験を行い、多くの最適化問題で QA が SA よりも優れていることを示しました。また教授は QA の収束性、すなわち最適解の発見を保証する収束定理を数学的に証明するなど、QA に対する数学的な基礎も与えています。以上の成果は世界的にも注目され、D-Wave Systems 社によって 2011 年に実用化された世界初の商用量子計算機である量子アニーリングマシンの開発につながりました。特定の問題を極めて高速に解くことのできるこのマシンの発表を契機として、単なる組合せ最適化問題の解法にとどまらない新たな QA の応用展開も始まっています。例えば大量のデータ構造の解析が必要とされる機械学習や深層学習といった人工知能の分野の研究において、新たな高性能技術の開発のために QA のもつ解の特徴と高速性を活かしたアプローチ手法が生み出されてきています。

以上のように西森教授は、これまで計算時間上解くことが困難と考えられてきた複雑な組合せ最適化問題に関し、それを高速に解く可能性をもった量子コンピューティングの一手法である QA を提唱しました。この革新的な成果が、特にランダムスピン系という情報科学の領域とは異なる分野の理論的研究の中から斬新な着想により生み出された点は特筆されます。近年、教授は IEEE Standards Association における量子コンピュータ用語の国際標準化グループや、米国政府機関 IARPA が推進する高機能な量子アニーリング装置のプロトタイプ構築の国家プロジェクト Quantum Enhanced Optimization への参加を通じ、量子コンピューティング技術の開発や発展、さらには普及に向けた活動にも尽力しています。今日、量子アニーリングマシンが注目される背景には、その高速性のみならず超伝導量子ビットの採用による低電力性があるとも言われますが、益々複雑化する情報通信社会における課題の解決や持続的発展にとっても量子コンピューティングの果たす役割や期待は大きく、西森教授の功績を踏まえれば C&C 賞の受賞者としてふさわしいものと言えます。

西森 秀稔 教授

現職：東京工業大学 教授

東北大学 教授

1954年生まれ 63(歳)

略歴：

1977 東京大学理学部物理学科卒業

1981 カーネギーメロン大学 研究員

1982 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、理学博士

1982 ラトガース大学 研究員

1984 東京工業大学理学部物理学科 助手

1990 東京工業大学理学部物理学科 助教授

1996 東京工業大学理学部物理学科 教授

2011 東京工業大学大学院理工学研究科長、理学系長、理学部長

2016 東京工業大学理学院 教授

2018 東京工業大学科学技術創成研究院 教授

2018 東北大学大学院情報科学研究科 教授(クロスアポイントメント)

主な受賞歴：

1990 第4回日本IBM科学賞

2001 英国物理学会フェロー

2006 第52回仁科記念賞

2014 日本イノベーター大賞特別賞

2016 東工大教育賞最優秀賞

2018 末松賞「デジタル技術の基礎と展開」支援 創設記念特別賞

■ グループ B : チン W. タン 教授

今日の情報通信社会では、人と社会システムをつなぐインターフェース技術の進化がその発展を支えています。特に、モバイルインターネットの拡大とともに世界中の人々の生活を支えるキーデバイスとなったスマートフォンなどの小型情報端末においては、フラットパネルディスプレイ(FPD : Flat panel Display)がインターフェースとして極めて重要な役割を果たしています。FPD の分野では、液晶ディスプレイ(LCD : Liquid Crystal Display)が長らく市場を先導してきましたが、近年新たなデバイスとして有機EL(Organic Electro-Luminescence)を原理とする表示デバイスである有機発光ダイオード(OLED : Organic Light-Emitting Diodes)が注目されています。OLED は薄さや形状、柔軟性、面発光といったデザイン性や、低電圧駆動といった携帯性に優れる特徴をもち、画質面でも高コントラスト、高速度応答、広視野角といった LCD に対する優位性があります。小型の情報端末の分野で OLED は既に大きな市場シェアを獲得していますが、今後はテレビ等の大型端末においても普及が進むことが予想されます。さらに将来を展望すれば、そのさまざまな特徴を活かした斬新な端末は、革新的な情報インターフェースとして情報通信社会や人々の暮らしを豊かにし、変革していくことが期待されます。

チン W. タン教授は、Eastman Kodak 社に在籍した 1970 年代から有機 EL のもつ可能性に着目し、その高輝度化、高効率化を検討し続けた結果、1987 年に同社の同僚であった Steven Van Slyke との共同で、有機 EL 分野のブレークスルーと言える論文 "Organic electroluminescent diodes" を発表しました。本論文では異なる性質をもつ二層の有機材料を極めて薄い膜で形成し、それを画期的な電極材料と組み合わせた新たな有機 EL の構造が報告されました。その革新的なデバイスは OLED と呼ばれ、実用に足る極めて高い輝度と優れた効率を世界で初めて実現しました。本構造の発表は、その後の有機 EL 分野の研究加速と産業発展のきっかけとなりました。

有機 EL の発光は、一般に絶縁物と考えられる有機材料に電界を印加する

ことで注入されたホールと電子が材料内で再結合し、その結果エネルギーを放出する電界発光と呼ばれる現象です。1953 年の Andre Bernanose による色素含有有機薄膜における発光の発見以降、世界中の研究者によって多種多様な方法を用いた電界発光の高輝度化と高効率化が試みられましたが、1980 年代半ばまで長らく顕著な成果は得られませんでした。当時の主たる課題は、安定かつ効率的に電子の注入が行える有機材料と電極材料が見つかることなく、そして電界印加時の有機薄膜が不安定であり、容易に絶縁破壊などの障害が起こることでした。

以上の難題に対し、タン教授らは以下の革新的な技術の組み合わせによって課題の解決を図りました。第一に、電子輸送性の高い蛍光体発光材料に対しホールの輸送材料をヘテロ接合する二層薄膜構造をとることによって、発光とキャリア輸送の機能を分離することを発想し、その構造を実現しました。第二に、有機薄膜の不安定性の原因であった多結晶的な膜質を非晶質的な膜質とすることで安定性を向上させました。第三に、高電界を得るために 100nm オーダの高品質な超薄膜有機層を作成することに成功しました。そして第四には、電子注入に有利ではあるものの仕事関数が低く大気中で不安定だったマグネシウム電極に改良を加え、銀を少量合金化させることで安定かつ有機物との密着性の高い優れた陰極として形成したことです。以上のような工夫が加えられた機能分離型の積層有機薄膜デバイスは、僅か 10V 以下の電圧で 1000 カンデラ/平方メートル以上という今日の製品にも匹敵する光度を外部量子効率 1% 以上という高効率な条件で実現し、世界中の研究者に驚きとインパクトを与えました。この報告は有機 EL の可能性を世界に知らしめ、1990 年代になると有機 EL に関する研究は世界的に活性化しました。その結果、例えば遷移重金属を用いた発光材料による高い発光効率の実現などといった、有機 EL 分野の応用製品や有機エレクトロニクス産業の発展に繋がる成果がタン教授らのブレークスルーの発表後に生まれています。

タン教授の長年にわたる有機エレクトロニクス、とりわけ OLED に関する研究は、高輝度で高効率な機能分離型の積層薄膜構造の発見として結実し、

それは今日のディスプレイ産業界における最も重要な技術的貢献の一つとして受け継がれています。1990 年代後半には OLED の実用化が始まりましたが、携帯端末の表示装置としては今や LCD をしのぐ主流製品になりつつあります。さらに、OLED の応用として 2000 年代後半からはテレビが製品化されましたが、今後も市場のさらなる拡大が期待されています。一方、OLED はその優れた画質やデザイン性などに加え、低消費電力である特徴も併せ持ち、人と情報通信社会とをつなぐ環境負荷の小さなインターフェースデバイスとしても重要な役割を果たしています。以上のような状況を踏まえれば、C&C すなわち情報通信社会の持続的成長にとっても各種情報端末や表示装置の主要要素である OLED は極めて重要であり、その発見と開発の先駆者として世界中に影響を与えたタン教授の業績は C&C 賞の受賞者としてふさわしいものと考えます。

チン W. タン 教授

現職：ロチェスター大学 名誉教授
香港科技大学 教授

1947年香港生まれ 71(歳)

略歴：

1970 BS in chemistry from The University of British Columbia
1975 PhD in physical chemistry from Cornell University
1975 Research Scientist, Eastman Kodak
1981 Senior Research Scientist, Eastman Kodak
1990 Research Associate, Eastman Kodak
1998 Senior Research Associate, Eastman Kodak
2006 Professor, University of Rochester
2013 IAS Bank of East Asia Professor, The Hong Kong University of Science and Technology

主な受賞歴：

2001 Jan Rajchman Prize, from the Society for Information Display;
2001 Carothers Award, from the American Chemical Society;
2001 Northeast Regional Innovation Award, from the American Chemical Society
2002 Rochester Law Association Inventor of the Year Award, from the Rochester Intellectual Property Law Association
2003 Team Innovation Award, from the American Chemical Society
2003 Distinguished Fellow of the Kodak Research Laboratories, from the Eastman Kodak Company
2005 Humboldt Research Award, from the Alexander von Humboldt Foundation

- 2007 Daniel E. Noble Award, from the IEEE
- 2010 Lifetime Achievement Award, from the Hajim School of Engineering and Applied Sciences, the University of Rochester
- 2011 Wolf Prize in Chemistry, from the Wolf Foundation
- 2013 Eduard Rhein Award, from the Eduard Rhein Foundation
- 2014 Nick Holonyak Jr. Award, from the Optical Society
- 2017 IEEE Jun-ichi Nishizawa Medal, from the IEEE
- 2018 Inductee Award, from the National Inventors Hall of Fame

以上