

計算科学の世界

京がつくる時代

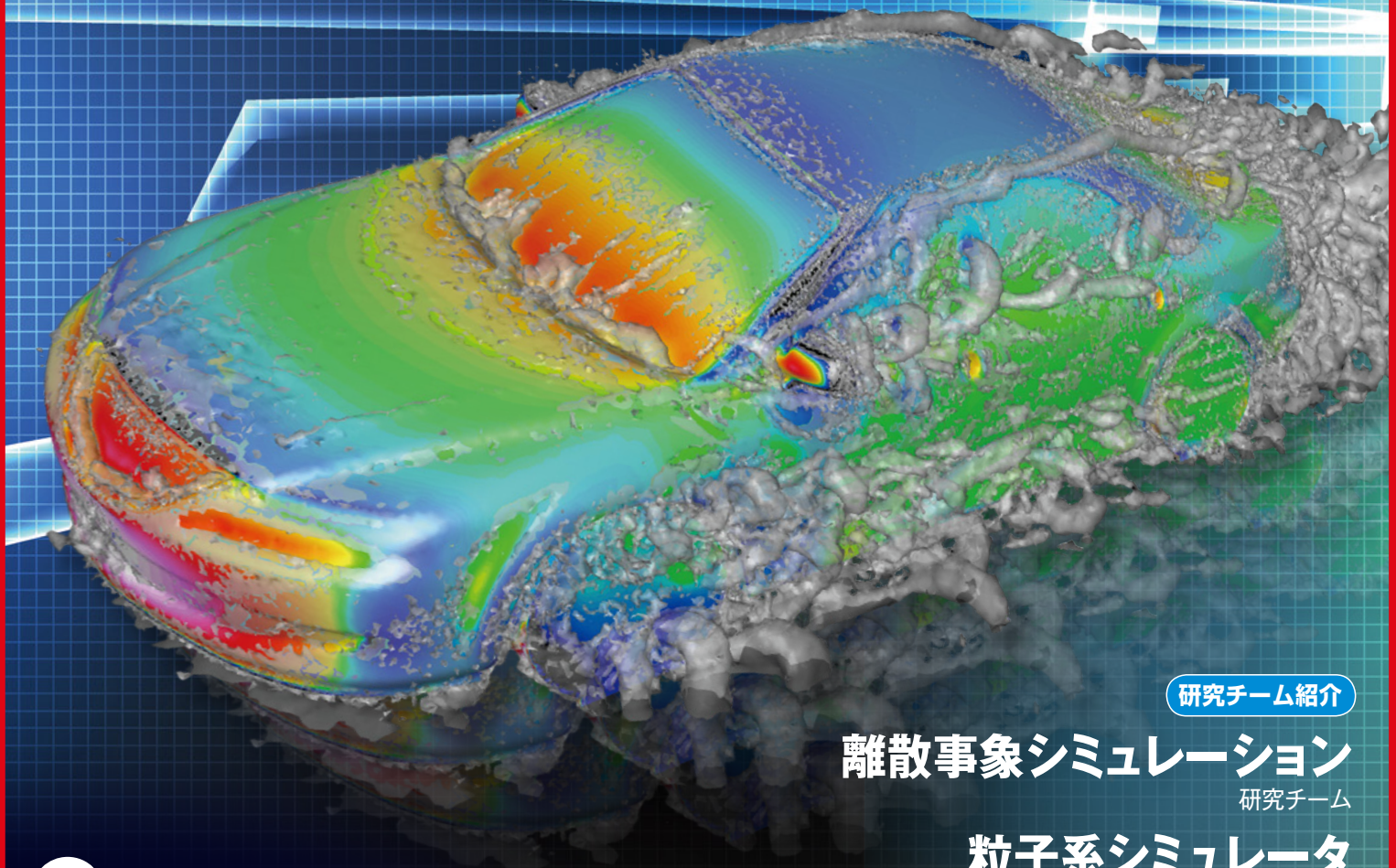
K computer Newsletter
September 2013

No. 6

京
K computer

Interview

「京」が変える 車の開発プロセス



研究チーム紹介

離散事象シミュレーション

研究チーム

粒子系シミュレータ

研究チーム



独立行政法人理化学研究所
計算科学研究機構

蛇行運転時の安定性解析のための空力シミュレーション（協力：マツダ株式会社）

interview



風洞実験を超える

「京」が

北海道大学大学院工学研究院
准教授
複雑現象統一的解法研究チーム
チームリーダー

坪倉 誠

Makoto Tsubokura

10ペタフロップス*1の性能を誇る「京」。この計算性能を、日本の主要産業である車づくりに活かすための研究が進められています。今回は、HPCI戦略プログラム「分野4次世代ものづくり」*2のメンバーで、複雑現象統一

的解法研究チームのチームリーダーも務める坪倉誠さんに、自動車の開発に欠かせない「空力シミュレーション」について聞きました。「京」での空力シミュレーションは、車の開発をどのように変えるのでしょうか。

車の性能向上のカギは空気力のコントロールにあり

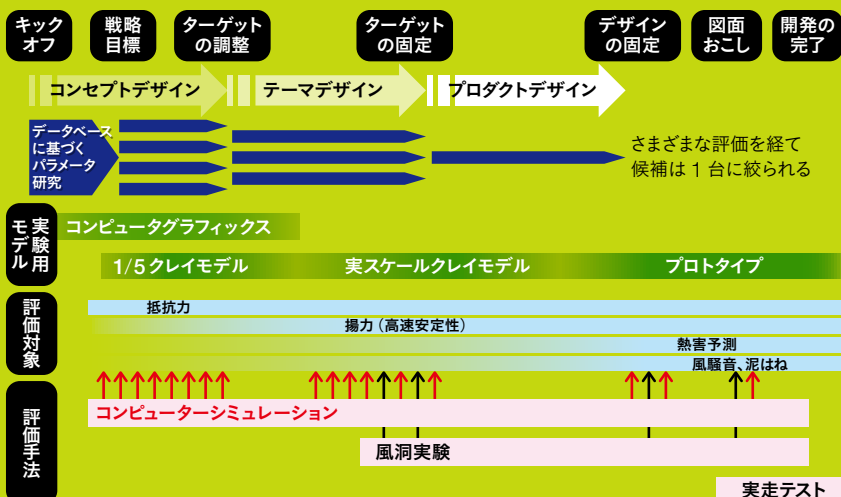
車が走るときには、空気から抵抗力、揚力、横力を受けます。例えば、燃費を下げるには、車の表面をなめら

かにして抵抗力を下げる必要がありますが、そうすると揚力が発生して安定性が悪くなってしまうことがあります。このように、車の設計では、空気力をいかにコントロールするかが性能向上の大きなポイントとなります。そこで使われるのが、風洞実験です。

「風洞実験では、粘土を削りだして

つくったクレイモデルやプロトタイプ車に、巨大な送風機で風を当て、空気力を測定したり空気の流れを見たりします。しかし、モデルをつくって実験を繰り返すのは費用も時間もかかるので、**今ではかなりの部分がスパコンによる空力シミュレーションに置き換えられています(図1)**」と坪倉さん。空力シミュレーションとは、車体の周りの空間を格子(「スパコンのことば」参照)に分け、各格子の中の空気の運動を運動方程式に基づいて計算する手法です。日本の車づくりには1980年代に導入され、低コストかつ短時間で車を開発するのに貢献し、日本車の国際競争力を支えてきました。

図1 現在の空力設計・開発のプロセス



自動車開発は、どんな車にするかというコンセプトデザインに始まり、多数の中から徐々に候補を絞り込んでいく作業である。その中で、車の性能評価のために、クレイモデルやプロトタイプ車を使った風洞実験が何度も繰り返されてきた。現在では風洞実験の多くがシミュレーションで置き換えられている。

「京」なら風洞実験を超えられる

02

しかし、坪倉さんは、現在の空力シミュレーションが“風洞実験の代わり”にとどまっていることに満足していま

空カシミュレーションで、より性能が高く、より安全な車を

変える車の開発プロ

せん。「走る車の周りの空気の流れには、最大で数m、最小では1mmに満たない渦がたくさん含まれています。風洞実験では、このような渦をすべて観察することはとてもできず、現在、自動車会社が所有するスパコンでもシミュレーションできないため、経験的にモデル化しています。それが、『京』を使ったシミュレーションなら、きちんと再現できるのです(図2)。これによって、車の周りにできるさまざまな渦が車の空気抵抗や走行状態にどのように影響するかという理屈がわかり、設計を合理的に改良していくことができます」と坪倉さんは説明します。

もちろん、「京」は日本にたった1台しかありません。しかし、現在、自動車会社が使っているスパコンは、10年前の世界最速スパコンと同程度の性能です。このペースが続けば、今から10年後には自動車会社各社が「京」級のスパコンをもつことになるでしょう。このことを坪倉さんは『京』は、自動車会社にとっては10年後が見えるタイムマシンなんです」と表現します。

坪倉さんは2011年、このタイムマシンを有効に利用するために、自動車会社と大学に呼びかけてコンソーシアムを立ち上げました。これまで自動車会社どうしは、良きライバルではあっても、連携することはほとんどありませんでした。しかし、「京」の登場で、シミュレーション用ソフトなど、車を開発する道具づくりのために、皆の知恵を結集しようという気運が高まったのです。このコンソーシアムでは、自動車会社各社が抱えている問題を提示

図2 「京」による空カシミュレーションの例



従来は自動車の周りの空間を非構造格子(「スパコンのことば」参照)で3500万要素に分けていたが、「京」では23億要素もの格子をつくって精密な空カシミュレーションを行うことができる。

してもらい、「京」でどうアプローチできるかを検討しています。

車づくりの経験を補うシミュレーション 03

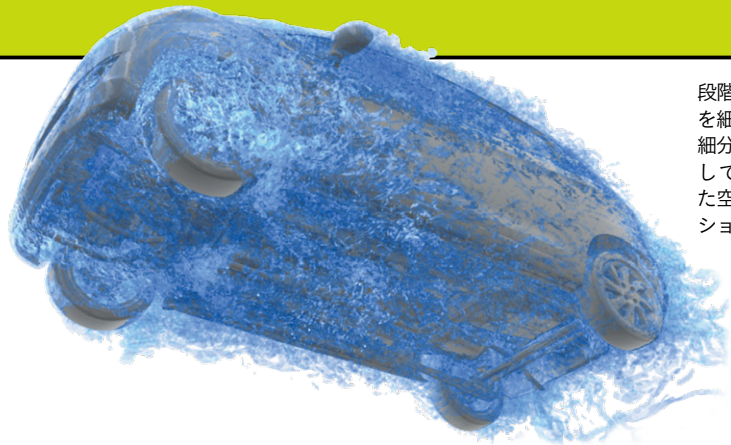
コンソーシアムの立ち上げに至るまでに、坪倉さんは自ら、「『京』が車づくりをどう変えるか」を自動車会社に説いて回りました。その中に、こんなエピソードがあります。

ある自動車会社(A社)が、自社の車とドイツ車の性能比較を行っていました。どちらの車も、風洞実験では抵抗値と揚力値がほぼ同じでしたが、実際に高速で走ってみると、ドイツ車のほうがより高い走行安定性を示すこと

がわかりました。A社ではその理由を実験でなんとか解明しようとしていましたが、坪倉さんがA社に協力してシミュレーションを行ったところ、車のフロントピラー*3から出る渦がピラーの形状によって変わり、車の後部に発生している渦と干渉する場合としない場合があること、干渉が起こったときに走行が不安定になることがわかりました(図3)。そして、A社は、「京」ならこれよりも高解像度の解析を短時間でできると考え、コンソーシアムへも参加しています。

一方、日本より自動車開発の歴史が長い上に、高速走行が一般的なドイツでは、ピラーの形が走行の安定性に関わることが経験的に知られていました。坪倉さんとA社が協力して行った

セス



段階的に構造格子を細かくする格子細分化技術を活用して「京」で行った空力シミュレーション

シミュレーションは、日本の自動車産業に足りない“経験”の部分をつまみ取ったわけです。

シミュレーションで変わる車づくりのプロセス

04

「『京』を使えば、リアルワールドシミュレーションが可能になります」と坪倉さんは続けます。突風や追い越し、急ハンドルなど、風洞実験では再現が難しい走行状態のとき、車がどのような運動をするかを明らかにできます。コンソーシアムではさらに、騒音予測、エンジンルームや排管系の耐熱性予測などの研究にも取り組んでいます。また、坪倉さんの研究チームでは、こうしたシミュレーションの基盤となり、将来のスパコンにも必要となる統一格子による連成シミュレーションを研究中です(右上図)。

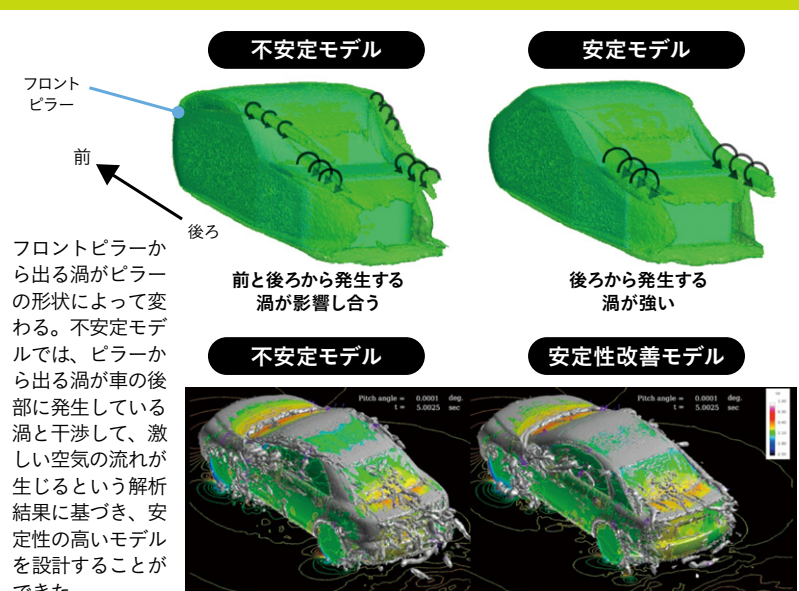
「京」での空力シミュレーションは、車づくりのプロセスを一変させる力を

秘めています。「既存のシミュレーション技術を使っていたのでは、アジア諸国にやがて追いつかれてしまいます」と危機感を募らせる坪倉さん。コンソーシアムのメンバーとの強力なタッグで、日本ならではのものづくりを実現

してくれることでしょう。

- *1: フロップスは1秒間に行う計算の回数を表す単位。10ベタは1京(10の16乗)。
- *2: 「京」をはじめとする日本のスパコンを最大限に活用して世界最高水準の研究成果の創出をめざす5分野のうちの1つ。
- *3: 自動車のフロントガラスの左右にある柱。

図3 高速走行が不安定なモデルと安定なモデル (Okada et al., 2009, 2012および Cheng et al., 2010, 2011)



坪倉さんはこんな人



「シミュレーションをやっているという、パッチャルな世界に生きていると思われるかもしれませんが、そんなことはまったくありません」と坪倉さん。アメリカにいたときにはセスナを操縦してみたり、ドイツではレンタカーでアウトバーンを高速走行したそうです。セスナに乗ったのは、“失

速”を体験してみたかったから。飛行機の失速とは、翼に沿って流れていた気流が突然翼から離れ、飛行機が揚力を失って急降下することです。失速は流体の授業では必ず習うのに、実際にどんなものか知らないことがもどかしかったといいます。失速時の警報音は、翼につけられた笛の音。これも、失

速した時にどのような気流が生じるかわかっているから、的確な場所に笛をつけることができるのだと納得したそうです。空力を実際に体感することを大切にしている坪倉さん。学生たちにも、自分が研究する世界を体験するように勧め




セスナに乗る坪倉さん(向かって右)。2006年11月、アメリカのコロラド州ボルダーにて。

離散事象シミュレーション 研究チーム

Discrete Event Simulation Research Team



伊藤伸泰チームリーダー(右端)とチームのメンバー

最近、携帯電話の通信記録などから人々の社会活動について解析されるようになってきました。我々の社会には、携帯電話のような通信網、道路や鉄道のような輸送網など、多くのネットワーク構造が見られます。これらは単純化すると、のように線と結節点からなる「グラフ構造」になります。このようなグラフ構造は「離散数学」と呼ばれる分野の主要な研究対象なのです。我々のチーム

では、人間社会のシミュレーションをめざして、離散数学的な問題を効率的に処理する技術の開発を行っています。

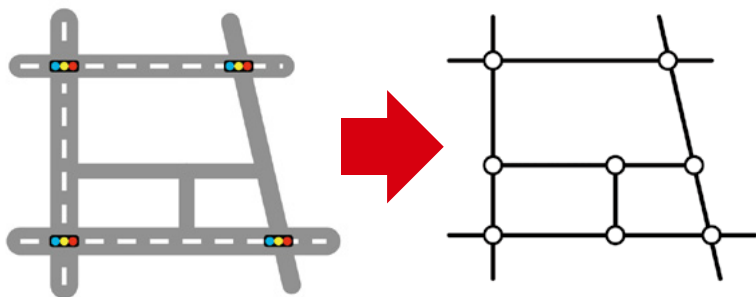
社会シミュレーションはすでに交通渋滞の予測などに応用されています。では、「京」を用いると、どのようなことが新しく可能になるのでしょうか？

実は、他の科学分野とは違い、社会の動きを決める法則はまだ完全にはわかっていません。科学的な法則を知るには、

同じ条件で何度も実験や観察を行う必要があります。これは現実の社会では不可能ですが、「京」を使えば同じ条件のシミュレーションを数多く行うことができます。

また、社会シミュレーションでは、計算機の中で人や車を表す「エージェント」が道路のようなグラフ構造の上を動き回ります。強力な計算機を使えば、より高度な人工知能をもったエージェントによるシミュレーションが可能で、人間とは違った知能をもったエージェントたちは、人間社会とは性質の異なる社会をつくる可能性さえあります。

社会シミュレーションは科学として成り立つか？ 我々の社会とは異なった形態の社会は存在するか？ 将来、これらの問いに答えることができるようになるかもしれません。
(稲岡 創)




道路は単純化すると、線と結節点からなるグラフ構造である。

粒子系シミュレータ 研究チーム

Particle Simulator Research Team

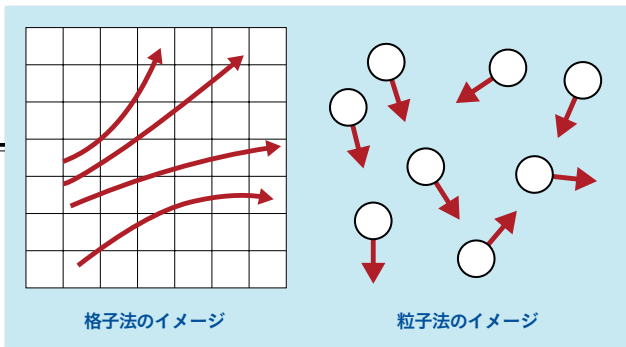
当研究チームでは、超並列システム「京」に最適な粒子法並列化アルゴリズムを確立し、「京」の威力を発揮する粒子法シミュレータ・ソフトウェアを開発しています。

シミュレーションの手法には、「格子法」と「粒子法」があります()。格子法では対象となる空間を格子状に区切り、その交点に格子の状態を表す数値を置き、流体の運動を支配する方程式に従って計

算を行います。一方、粒子法では、1個1個の粒子に数値を置き、粒子の運動を支配する方程式に従って計算を行います。粒子法はシミュレーション対象の運動に合わせて自動的に粒子が集まり、系を自然な形で表現してくれるため、物体の衝突や破壊等、形が大きく変わる系のシミュレーションや、密度コントラストが強く細かい構造をつくる系、例えば天体が集まって銀河を形成するといったシミュレーション等に適しています。

粒子法は宇宙、生命科学、気象や気候、ものづくりなど幅広い分野で使われています。しかし、今ま

でのソフトウェアは各分野で独自に開発されてきたために共用が困難であり、他分野の研究者が粒子法シミュレーションを行う場合、一からソフトウェアをつくる必要があります。そこで私たちは、さまざまな分野の多くの研究者が簡単に粒子法シミュレーションを行えるように、「京」のような大規模並列型スパコンで高性能に動作し、あらゆる粒子法シミュレーションを行えるソフトウェア(粒子法統一シミュレータ)の開発を行っています。現在、2014年のソフトウェア公開予定に向けて、チーム一丸となって取り組んでいます。
(岩澤 全規)



牧野淳一郎チームリーダー(左から2人目)とチームのメンバー

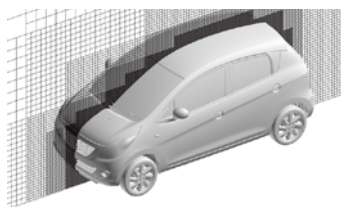
自 動車の周りの空気の流れや気象の変化をシミュレーションするには、空間をすきまなく分割し、分割された要素ごとに計算することが必要です。その分割のために使われるのが「格子」です。ほかにも、地震波の伝わり方、細胞内の物質移動、材料の電子特性、さらには、クォークのふるまいまで、さまざまなシミュレーションが格子を使って行われます。

格子が細ければ細かいほど、シミュレーションの精度は上がりますが、計算量もどんどん増えます。計算量をなるべく抑えつつ精度をあげるには、計算法の開発ももちろんですが、格子のつくり方にも工夫が必要です。

多くのシミュレーションでは、空間(実際の空間のこともあれば、理論的な空間のこともあります)を直方体で一定間隔に区切る「構造格子」が使われています。構造格子は、つくるのも細かくするのも簡単だという特徴があります。



自動車の周りの空間を区切るための格子



左は四面体を用いた非構造格子で、右は構造格子。右では、車に近づくにつれて格子を段階的に細かくすることで、構造格子のメリットを活かしつつ、形状を可能な限りなめらかに表現している。

一方、自動車や地形のように複雑な形を扱う場合は、空間を四面体や三角柱、四角すいなどで区切る「非構造格子」が使われています。四面体などを使うと、同じ細かさなら直方体よりもなめらかに形状を再現できるからです。ただし非構造格子は、手作業でつくる部分があり、格子を細かくするために単位の立体を自動的に分割すると、形がひずんでしまうこともあります。

そこで、複雑現象統一の解法研究チームでは、段階的に構造格子を細かくする格子細分化技術を活用して、自動車のような複雑な形状でも短時間で格子を作成できる手法を採用し、改良を続けています。

シミュレーションの対象、精度、目的に応じて、どちらの格子をどの程度の細かさで使うべきかは違ってきます。格子のつくり方は、スパコンによるシミュレーションをうまく利用するためのカギを握っているのです。



「故障したCPUの交換」



「京」は8万個以上のCPUからなるスパコンです。そのうちの1個が何らかの事情で故障したとき、どうやって交換するのでしょうか。

協力：富士通(株)、(株)富士通エフサス

そもそものCPUが故障しているのか、見ただけではわかりません。CPUは4個ずつシステムボードに搭載され、そのボードが24枚ずつシステムラックに収められています。各ラックにはふだん緑色のランプがついていますが、中のCPUが故障すると、その隣にあるオレンジ色のランプが点灯します。同時に、関係者あてにメールが自動発信されます。



担当のエンジニアは、まず故障したCPUの動作を止め、同じボードの残り3個のCPUの動作も

止めます。そして、問題のラックに対処中の目印となる青色ランプを点灯させてから計算機室に入り、新しいボードや部品を作業台に乗せて青色ランプをめざします。1080台も並ぶラック群には、アルファベットと数字を組み合わせた「番地」がついているので、迷うことはありません。



青色ランプのラックに到着したら、扉を開けて、ラック全体の動作を管理している中央部のサービス・プロセッサ・ボードに作業用パソコンをつなぎます。それから、

チェックリストで手順を確認しつつ、故障したCPUが載ったボードを取り外します。ボードに接続されているCPU冷却用の冷水パイプも取り外します。パイプには栓があり、水が流れ出すことはありませんが、水滴でもこぼしたら大変！ そのため、布をパイプにあてながら慎重に作業します。



続いて、古いボードに搭載されていたメモリを新しいボードに移します。計算のときCPUの相棒を務めるメモリには、またがんばってもらうのです。この作業の大

敵は静電気。作業台はアースし、エンジニアも静電気防止の手袋や靴を身につけます。メモリを移したら、新しいボードをラックに挿入。オレンジ色のランプが消えます。目印の青色ランプを消灯し、作業完了です。



所要時間は約2時間。息の詰まるような作業が、「京」の信頼性を支えているのです。なお、古いボードは、故障したCPUを工場で交換し、また戻ってきます。

