

研 究 解 説

フランス科学研究庁 (CNRS) と東京大学生産技術研究所 (IIS) の
マイクロメカトロニクスに関する共同研究Joint Research on Micromechatronics between the "Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)"
and the "Institute of Industrial Science (IIS)"

ドミニック・コラルル*・ミシェル・ド・ラバシェリリー*

ムサ・ウマディ*・ハネス・ブロイレル**

藤 田 博 之***・平 本 俊 郎***・橋 本 秀 紀***

川 勝 英 樹**・増 沢 隆 久**

D. COLLARD, M.d. LABACHELERIE, M. HOUMMADY, H. BLEULER, H. FUJITA,
T. HIRAMOTO, H. HASHIMOTO, H. KAWAKATSU and T. MASUZAWA

フランスの主要な研究機関で、27,000名の研究員を擁するフランス科学研究庁 (CNRS) と東京大学生産技術研究所 (IIS) はマイクロメカトロニクスに関する共同研究プロジェクトを開始することになった。生産技術研究所内に集積化マイクロメカトロニクス・システム・ラボ (LIMMS) と称する共同研究組織を設け、マイクロマシンや微小な運動システムの研究が行われる。CNRS から派遣されるフランス人研究員は1年～3年間 LIMMS に在籍し、生産研の教官及び研究員とともに研究を行う。

1. 共同研究ラボ「LIMMS」の紹介

フランスの研究組織の中心であるフランス科学研究庁 (CNRS) と東京大学の生産技術研究所 (IIS) は共同研究プロジェクトを開始することに合意し、共同研究組織として集積化マイクロメカトロニクス・システム・ラボ (LIMMS) を設立した。

LIMMS においては、CNRS の研究所から派遣されるフランス人研究者と生産研の研究グループ、すなわちマイクロメカトロニクスに関するリサーチ・グループ・オブ・エクセレンス (RGOE) から選ばれた教官及び研究者によって同分野の共同研究を行う。LIMMS は東京大学の六本木キャンパスにあり、CNRS の専任研究員を2～3年間の期間で受け入れるほか、日本学術振興会 (JSPS) のフェローシップ・プログラム (外国人特別研究員制度) の一環として、博士号を既に取得している若手研究員を通常一年間の期限付きで受け入れることになる。通常6名までのCNRS 常勤研究員と博士課程修了者の LIMMS への派遣選考はフランス国内で行う。

上記の共同研究の技術的テーマはマイクロメカトロニクスに関連するもので、マイクロマシンとマイクロエレクト

ロニクスを統合したシステムを研究する。個別の研究プロジェクトではマイクロマシーニング、すなわち超微細機械加工技術、新型アクチュエータ/センサ開発、及び原子レベルの顕微システムを取り扱う。基本的には、生産研のマイクロメカトロニクス研究グループのノウハウと CNRS 研究所の光学、マイクロ波、音響分野における専門知識を組み合わせた形で技術プロジェクトを実施する。この詳細については4章で説明する。

2. 何故 LIMMS を設立したか? CNRS の視点

2.1 CNRS の概要

フランス科学研究庁 (CNRS) は、基礎研究の振興を行うフランス政府機関であり、その規模からいって、ヨーロッパ随一の基礎研究機関である。CNRS は11,400名の研究員及び15,600名のエンジニア、技術者、及び管理部門スタッフを含め全職員数27,000名を有している。CNRS は大学との関係が深く、フランス全土に位置する1,300ヶ所の研究所における研究活動を統括している。フランシス・クーリルスキー氏が CNRS の長官を1988年7月から1994年7月まで務めていた。その後ガイ・オーベル氏が現在長官を務めている。

CNRS の研究活動は基礎数学、物理から人間科学までを含む7つの科学研究部門によって行われている。LIMMS は工学部門 (SPI) に所属し、その工学部門長で

*CNRS 主任研究員 (LIMMS 共同研究員)

**東京大学生産技術研究所 第2部

***東京大学生産技術研究所 第3部

あるジャン-ジャック・ガニユパン氏は、この共同研究プログラムをまとめるに当たって熱心に努力して下さった。工学部門で行われている研究は主として信号・情報処理、機械工学、流体工学、保健衛生工学に関するものである。今後の重要な研究課題としては並列処理、AI と機械との関係やマイクロテクノロジーを考えており、LIMMS の研究分野と十分に整合性を持つものと言える。

2.2 CNRS の関心

CNRS が LIMMS 設立を決定した背景には一般的なものと科学的なものとの2つの強い動機がある。

一般的に言えば、日仏間の科学分野での交流は最適なバランスにあるとは言えない。特に、在日フランス人研究者の数はフランスで活動する日本人研究者の数に遠く及ばない。さらに、日本の研究機関と共同研究をしたいという希望は強いにも関わらず、フランス人研究者が日本に派遣されても、十分な貢献を出来るような体制にはないのが現状である。フランス人研究者は多くの場合、日本各地の複数の研究所に派遣され、その研究領域も広範囲にわたっている。フランスに帰国する際も、それぞれの研究者で赴任地が違うため、修得した技術を十分に活かしたり広めたりすることが難しいとともに、共同研究への基本的意欲が弱まる傾向にある。

上記のような理由で、CNRS では科学技術分野での日仏交流の強化と共同研究プロジェクトの実施を優先課題と考えた。従って、はっきりとした目的の下に共同研究ラボを設立し、まとまった人数のフランス人研究者が働く仕組みへの関心が当然のことながら強まっていった。

対象となる科学技術研究としては新規開拓分野であって、長期的な展望に基づいた、将来的に見て魅力のあるものでなければいけない。マイクロメカトロニクスとマイクロシステムは主として2つの条件を満たすという理由で選ばれた研究テーマである。その条件とは、まず第一に CNRS の工学部門の研究課題と明らかに合致していること、そして第二には、日本はマイクロシステムの研究を強力に推進していることである。

共同研究を行う機関としては、東京大学の生産技術研究所 (IIS) が「マイクロメカトロニクス研究グループ」のもとで総合的に関連研究を行っており、その点でほかにはみられない強みを持っていると言える。この研究グループは6つの研究室からなり、CNRS の関心分野の研究に必要な優れた技術的手法を提供し、かつ長期的な研究プロジェクトを実施することが可能である。さらに、最初に問い合わせを行った時点から共同研究所設立の構想は生産研所長 (当時) の原島文雄教授に極めて好意的に受け入れていただけたと思っている。

以上のように、生産研との共同研究は CNRS 側のすべ

ての基本的条件を満たすため、CNRS としても LIMMS の設立を強く希望することになったわけである。

2.3 今回参加する CNRS の3研究所、IEMN, IMFC, 及び LAAS の紹介とその役割

今回、CNRS 側からは、次に挙げるマイクロテクノロジー分野の3研究所が LIMMS に参加することになる。

—フランス北部電子工学・マイクロエレクトロニクス研究所 (IEMN) (リール)

—フランシュコムテ・マイクロ技術研究所 (IMFC) (ブザンソン)

—システム解析・アーキテクチャ研究所 (LAAS) (トゥールーズ)

これらの3研究所は、主として2つの役割を果たすことになる。まず第一に、LIMMS に受け入れてもらうにふさわしい CNRS 専任研究員と博士号を既に取得している若手研究員を選考することである。第二に、CNRS 側のニーズを満たし、そして生産研のマイクロメカトロニクス加工技術レベルに見合った科学研究プロジェクトを提案することである。このふたつの役割は CNRS の評価委員会を果たすべきものである。

IEMN はフランス北部のリールにあり、ユジーン・コンスタン氏が所長を務めている。300名の研究者と大学院博士課程の学生が研究活動を行っている。IEMN は主に物質科学、マイクロ構造、構成部品、及びマイクロエレクトロニクス回路の研究を行っている。さらに、オプトエレクトロニクスやマイクロ波回路の研究も盛んである。床面積900平方メートルのクリーンルームを持ち、III-V 族半導体のプロセスとマイクロテクノロジーの研究に使用されている。

ブザンソン (フランス東部) にある IMFC では、所長のダニエル・オーデン氏を中心に材料、CAD、マイクロメカトロニクス・プロセス、超小型アクチュエータ、マイクロセンサ、及びロボット工学の研究を行っている。加えて、測定システム、近接場電子顕微鏡の開発も行っている。計測工学、機械工学、及び光学の専門知識を持つ220名の研究者と大学院博士課程の学生が研究活動を行っている。

フランス南部のトゥールーズにある LAAS 研究所は CNRS の研究所の中でも最大規模のもののひとつであり、400名の研究者と大学院博士課程の学生が研究活動に従事している。研究分野としては、シリコンや III-V 族半導体によるマイクロエレクトロニクス、オプトエレクトロニクスと光学技術の統合化、マイクロシステムとセンサ技術、ロボティクスと人工知能などがある。床面積900平方メートルのクリーンルームと研究室を持ち、様々な電子顕微鏡システムが利用できる。LAAS の所長はアレン・コステ氏である。

3. 生産研の LIMMS への関心

3.1 一般的関心

LIMMS の基本構想は、生産研の全体方針と良く合致したものである。研究に対する生産研の第一の方針は、異なる学問分野を融合することである。東京大学の工学部では学部学生と大学院生の教育をともにに行っているのに対し、生産研では産学共同研究と大学院での教育研究活動を主として行っている。どんなに若い教官（教授、助教授、講師）であっても独立した研究室が与えられ、そこで最先端の工学分野の研究に従事し、新分野を開拓することが出来る。ここで行われている研究のテーマは学際的なもの、或いは学問の境界を超越したものが多く、従って従来からある工学のひとつの領域内ですべての研究が完結するとは言えない。生産研では研究者がグループで、ある研究課題に取り組むことを奨励している。現在15以上の研究グループ(RGOE)があり、それぞれ耐震工学、インテリジェント・メカトロニクスといった具体的テーマで研究を行っている。LIMMS における主要研究課題であるマイクロメカトロニクス・システムも電気・電子工学、機械工学、化学工学、材料科学の専門家の協力が不可欠なものである。RGOE の一つであるマイクロメカトロニクス研究グループは1992年に組織されて以来、マイクロシステム工学やマイクロマシン開発の分野で活発に研究活動を行っている。LIMMS は生産研のこうした研究活動をさらに推進する機会を提供するものと期待される。

第二の方針は、国際交流と国際研究協力に関するものである。生産研は海外の大学や研究機関と国際交流に関する協定を結んでおり、もちろん CNRS もその中に含まれている。生産研は海外の大学から教官を招聘するとともに、約200名の外国人が留学生あるいは研究者としてその中で研究活動に従事している。扱われる研究テーマもますます国際的なものになり、国際交流の必要性も高まってきている。LIMMS は数ある国際的研究活動の中でもユニークなものといえよう。かなりの数の上級研究者や博士号を取得したばかりの若手研究者が生産研に数年間にわたって滞在し、明確な目的をもって具体的な研究課題に取り組むことが出来るのである。実験や討論を通じての日仏の研究者の間に活発なやりとりが期待される。日仏の研究者がお互いのアイデアや思考方法を学ぶ機会を積極的に持とうとするのである。異なる文化の衝突と融合を通して、画期的なアイデアや技術革新が生まれるはずである。

3.2 学術的関心

LIMMS プロジェクトは科学研究の点から見ても多くの特徴を有している。人工の蟻といえるような小型の機械を作ることが人類の長い間の夢のひとつであった。このよう

なマイクロマシンには無限に近い可能性があり、例えば医学の分野ではマイクロマシンを血管中に送り込み、体内の病気に侵された部分を治療することが期待される。科学の分野ではマイクロマシンが分子や原子の組成を直接操作することができるだろう。そして環境の面でも、マイクロマシンが環境汚染を浄化するのに使用されることも可能になるだろう。先程触れたように、RGOE の一つのマイクロメカトロニクス研究グループがマイクロマシンとマイクロエレクトロニクス技術を統合し、ミクロの世界で動作する完全なマイクロメカトロニクス・システムを開発しようとしている。研究領域は半導体製造工程や超精密機械加工プロセスを応用したマイクロマシーニング技術の開発から、全く新しい原理に基づくマイクロモータやアクチュエータの製作まで広範囲にわたっている。原子のレベルまで加工精度を厳密に管理し、高度のセンサ技術を駆使してインテリジェントな運動制御を行うことも研究されている。応用分野としては、バイオメディカル・エンジニアリング、マイクロロボット、マイクロ光学、マイクロ流体システム、そして情報記憶・通信素子などが考えられる。しかし、生産研での研究の大部分は製造プロセスやマイクロマシンの制御技術に関してのみ行われているようである。それに対して、今回 LIMMS に参加する CNRS の3研究所ではむしろ技術の応用面を重視している。その背景には CNRS は光学、精密計測工学、マイクロ波通信の応用分野に強いことがある。生産研と CNRS はそれぞれの研究の方向性が相互補完の関係にあるため、共同研究を行うことは自然なことであり、またメリットも多いのである。

4. プロジェクトの開始と LIMMS 設立の経緯

4.1 LIMMS 設立の経緯

1992年に CNRS はマイクロテクノロジーの分野で独自の研究を行う目的で、CNRS の研究所を統合しマイクロメカトロニクス関連のプロジェクトに着手することとした。同時に、設立されて間もない CNRS の日本支部が、CNRS と日本の科学界との協力を推進するため活動していた。1993年2月に日本のマイクロテクノロジー関係の研究施設を視察する目的でフランス人科学者のグループが派遣された。時を同じくして、CNRS の工学部門長であるジャン・ジャック・ガニユパン氏がマイクロメカトロニクスの分野における日仏共同研究を提唱した。この構想は1993年12月に東京大学の生産技術研究所に対し提案され、極めて好意的に受けとめられた。1994年2月には、東京大学生産技術研究所のマイクロメカトロニクス研究グループの教授が今回参加する CNRS の3研究所と CNRS 本部の視察のためフランスに赴くことになった。その時の様子は図1の写真を見ていただきたい。

1994年5月 LIMMS 事務局の開設宣言が CNRS 所長の



(a) IEMN にて (後列, 左から右の順に)
藤田, プロイレル, コンスタン (IEMN 所長),
ブリュネール, コラルル, ド・ラバシェル
リー, ラノー (IEMN 副所長), 原島 (生産
研所長), ゴット, 増沢



(b) CNRS 本部にて (手前より後の順に)
クーリルスキー (CNRS 長官), 増沢, デュ
ブイソン (CNRS 工学部門副部門長), オー
デン (IMFC 所長)



(c) CNRS 本部にて (手前より後の順に)
ガニュパン (CNRS 工学部門長), 原島 (生
産研所長), コステ (LAAS 所長), 川勝,
サルメール

図1 1994年2月にフランスにて撮影

フランシス・クーリルスキー氏と東京大学総長の吉川弘之氏によって正式になされた。(図2) 1994年6月, パリで共同研究に関する協定書の調印が行われた。

4.2 LIMMS の組織

生産研と CNRS が共同で設立した LIMMS は CNRS の専任研究員を6名まで2~3年間の期間受け入れる。この CNRS の研究員は生産研のマイクロメカトロニクス研究グループと共同研究する。フランス人研究者はそれぞれ生産研の教授, LIMMS の所長及び派遣元の CNRS 研究所が協議の上決定した研究課題に取り組むことになる。効果的に研究を行っていくために, すべての研究プロジェクトは生産研のメカトロニクス分野での豊かな経験とユニークな加工技術及びプロジェクトに参加している CNRS 研究所の専門知識を十分に活用したものでなければならない。

LIMMS の基本的研究予算は共同研究に関する協定書の定めにより CNRS と文部省が折半する。さらに CNRS の専任研究員は, 日本学術振興会 (JSPS) の奨学金をうけて来日する, 博士号を持つフランス人若手研究員を助手として研究活動に従事することになる。この奨学金は一年間有効である。

CNRS や生産研以外の研究者との協力も歓迎される。LIMMS は非常に魅力的な研究分野で共通の目的のために国際的な研究を行う研究センターである。

5. フランス人研究者の経歴, 日本に来た動機, 及び研究プロジェクト

1995年3月よりミシェル・ド・ラバシェルリー, ムサ・ウマディ, ドミニック・コラルルの3人の CNRS 研究員が LIMMS に着任し研究に従事している。またドミニク・ショーヴェルさんとクリスチャン・ベルゴー氏の2名の博士号を持つフランス人若手研究員も既に来日している。1994年12月から梅原まりさんが LIMMS の事務局員として CNRS との折衝に当たっている。1995年10月には CNRS の専任研究員と博士号を持つフランス人若手研究員が, そ



図2 LIMMS 設立調印式 (左から右へ)
吉川東京大学総長, ウブリュー仏大使, クーリル
スキー CNRS 長官

れぞれ 2 名来日する予定である。さて以下に、現在 LIMMS に在籍する 3 人の CNRS 専任研究員を紹介しよう。

ミシエル・ド・ラバシエルリーは、CNRS の主任研究員であり、光学、レーザー、及びオプトエレクトロニクスに関心を持っている。彼はフランス・オルセー大学にある CNRS の原子時計研究所でレーザー・ダイオードの干渉性改善に関する研究グループを指揮していた。彼はそこで様々な科学的用途に使用できる同調、周波数制御、スペクトラム純度の点で優れた「拡張キャビティーレーザー」の開発を行った。この新型レーザーの一例を図 3 に示す。

彼は 3 年間滞在の予定で 1992 年の 9 月に来日し、東京工業大学の天津教授の研究室で研究を行ったが、超高精度レーザーを用い波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯に多数の周波数基準を設定することに成功し、また波長 $1.5\mu\text{m}$ の周波数安定型レーザーの安定性を二桁改善することが出来た。この研究に関して 5 編の論文を公刊した。彼はまた CNRS 日本支部の科学顧問も務め、日本におけるマイクロテクノロジー関連の研究課題及びマイクロメカトロニクスの日仏共同研究の推進に取り組んできた。生産研の藤田博之教授と共同で現在の LIMMS における共同研究の枠組みを規定すると共に、1995 年 7 月にフランスに戻るまで LIMMS プロジェクトのフランス側代表としてその管理運営に携わっている。

ムサ・ウマディは 1962 年にモロッコで生まれ、1992 年より CNRS の主任研究員として研究を行っている。彼は 1991 年にフランシェ・コムテ大学（ブザンソン）から薄膜圧電素子における波束の特性とその物理・化学センサへの応用研究で博士号を授与された。彼は音波センサを研究しており、パリ、リオン、ボルドー、そしてツールーズにある CNRS の複数の研究所と合同で湿度センサ、流体粘性センサ、ガス濃度センサ、ポリマー位相変換センサ等の新型センサを開発した。この一連の研究の例としてガスセン

サの写真を図 4 に掲載しておいた。

彼は生産研の LIMMS に 1994 年 12 月から赴任し、ナノ構造体（ナノ・カンチレバー）の開発及び 100MHz～1GHz 帯の音波の発振に関する応用研究を行っている。この研究プロジェクトの目的は原子間力顕微鏡のダイナミック・モード制御の解像度を改善することである。また彼は青少年への科学の啓蒙と研究開発ネットワークの構築にも関心がある。

ドミニック・コラルールは 1980 年に ISEN（北部電子工学とマイクロエレクトロニクス工科大学）の工学部を卒業後、1984 年にリール大学で博士号を取得した。彼の博士論文は有限要素法を用いたシリコン・プロセスのシミュレーションに関するものである。1985 年から 1986 年まで川崎の東芝 ULSI 研究センターで一年間招聘科学者として研究活動に従事し、高度 CMOS 製造プロセスにおける不純物拡散メカニズムのモデル開発およびシミュレーションを行った。フランスに帰国後、主任研究員として CNRS に赴任しシリコン・プロセスのシミュレーションの研究グループで研究を行う傍ら、ISEN の電子工学科の主任に就任した。彼のシミュレーション研究グループの成果は、IMPACT と呼ばれる 2 次元シミュレータの開発であり、その装置は日本やヨーロッパの複数の大手半導体企業で使用されている。IMPACT の主な特徴は非平衡条件でシリコン・プロセスで生じる機械的応力を掛けた状態で不純物のドーピング・プロセスを正確にシミュレーション出来ることである。図 5 に局部酸化処理後の応力の分布と二次元酸素形状を示す。1992 年に IEMN のシミュレーション研究の主任となった。

彼が今回 LIMMS への参加を決めたのは、9 年前の日本での素晴らしい経験をもう一度体験したいということと、生産研／CNRS 共同研究プロジェクトに出来る限り積極的に参加したいという、ふたつの理由からであった。さらに過去数年間にわたって行ってきたシミュレーション研究

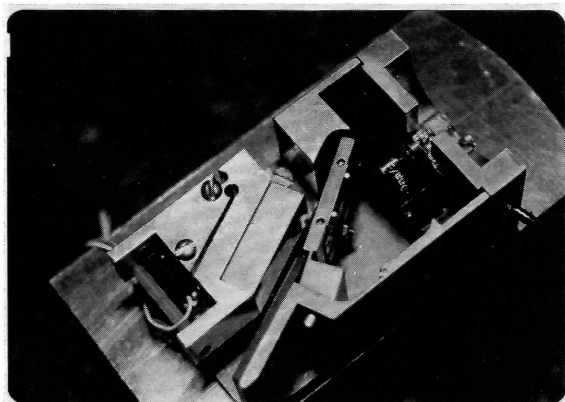


図 3 正確な周波数制御が可能な拡張キャビティー半導体レーザー

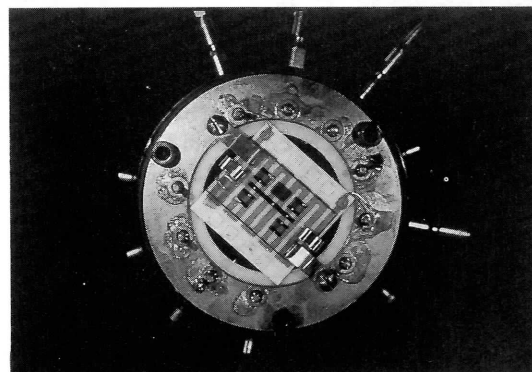


図 4 ボルドー IXL 研究所との協力のもとで IMFC で開発された SAW（表面音波）ガスセンサー

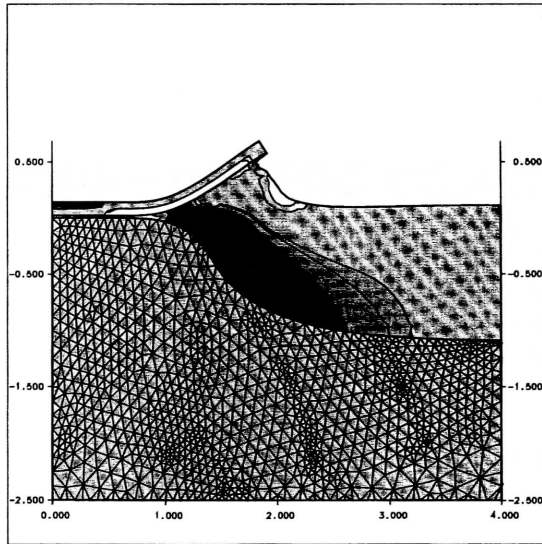


図5 シリコンの局部熱酸化処理後の応力の分布

の成果を実際のシリコン・プロセスを使って実証するために LIMMS を活用したいと考えている。彼は2年間の滞在予定で1995年1月に来日した。1995年7月にはミシェル・ド・ラバシェリー氏の後任として LIMMS の所長に就任することになっている。

彼はシリコン・ウエハ上の小型素子の自己アラインメントを可能にする集積型マイクロ運動システムを研究する計画を立てている。まず手始めに、スクラッチ・ドライブ・アクチュエータの概念を利用して、システムに組み込んだマイクロガイド上に取り付けたレーザーダイオードのアラインメント調整システムを研究する。静電力によってス

テッピング動作をするアクチュエータを使用するわけである。この基本動作によりレーザーダイオードの位置がXY-軸方向で正確に定義されるのである。

6. 結 論

まだLIMMSの結論を出すにはほど遠いが、本論文の著者は全員LIMMSがその設立に向けての努力に見合うだけの優れた研究成果を上げること確信している。

謝 辞

LIMMS プロジェクトは多くの個人及び組織からの支援を得てきた。そうした暖かいご支援なくしては、LIMMS プロジェクトは実現しなかった。まず元 CNRS 長官のフランシス・クーリルスキー氏と東京大学総長の吉川弘之氏に対して CNRS と東京大学の間で学術研究交流協定書に調印していただいたことに感謝の意を表明したい。そして文部省学術国際局には共同研究資金の一部を助成していただいた。日本学術振興会には研究者交流の旅費と博士号を持つフランス人若手研究員にたいする奨学金の面でご協力いただいている。ジャン・ジャック・ガニユパン氏と原島文雄教授にはひとかたならぬ激励とご支援をいただいていた。また CNRS 各研究所長のユージン・コンスタン氏、ダニエル・オーデン氏、アラン・コスト氏の3氏にもご協力をいただいた。そして、LIMMS 設立に向けての必要な手続きを完結する過程でご協力いただいたすべての皆様に対してここに心から感謝の意を表明する。

(1995年3月10日受理)