



## 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム 平成 27 年度技術スタッフ表彰 若手技術奨励賞 設計から試作まで

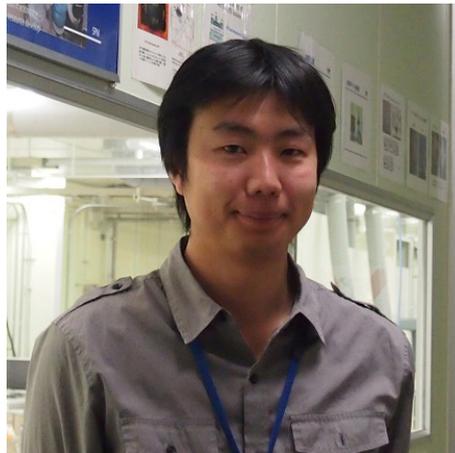
受賞者 産業技術総合研究所 ナノプロセッシング施設 山崎 将嗣氏に聞く

文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 [1] は、最先端のナノテクノロジー設備を共有することによって、イノベーションにつながる研究成果の創出を目指している。設備を保有する事業参画機関は、設備利用機会と共に利用のノウハウを提供するというサービスを行っている。このようなサービス活動には、設備をオペレートすると共に保守・維持を担う技術スタッフが欠かせない。

このため平成 26 年度より技術スタッフ表彰が行われ、平成 27 年度「若手技術奨励賞」に国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以下、産総研）ナノプロセッシング施設（Nano Processing Facility: NPF）の山崎 将嗣氏の「設計から試作まで」の支援活動が選ばれ、2016 年 1 月 29 日東京ビッグサイトで開催された第 14 回ナノテクノロジー総合シンポジウム（JAPAN NANO 2016）で表彰された [2]。

NPF[3] は、「進歩の速いナノテクノロジーにおいては、如何に迅速に、新材料・デバイスの試作品を作製、動作を解析し、その結果を次のステップの研究開発に結びつけられるかが研究開発の成否を分けると言っても過言ではない。」との考えの下、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業微細加工ナノプラットフォームコンソーシアム [4]」に参画し、装置の提供および技術指導等を通じてユーザのアイデアを迅速に結果に結びつけることを目的に様々な支援活動を行っている。特に、ナノエレクトロニクス、ナノマテリアル、NEMS&MEMS、フォトリソグラフィ、バイオ、環境エネルギー等の研究の推進に必要な、超微細加工、実装、計測・評価等の先端機器を、産学官の研究者に提供している。

受賞の対象となった技術の内容、支援の経緯などを伺うべく、つくば市梅園の産業技術総合研究所 つくばイノベーションアリーナ推進センター 共用施設運用ユニット 共用施設ステーション ナノプロセッシング施設に受賞者のナノプロセスエンジニア 山崎 将嗣（やまざき まさし）氏を訪ねた。



（左）若手技術奨励賞受賞の産総研 NPF 山崎 将嗣氏  
（右）副賞のバッジ 若手技術奨励賞

.....



### 1. 受賞者の技術支援サービスの概要

NPF の技術支援サービスには下記の 5 つのケースがある。

- (1) 技術相談：利用者の目的を達成するために、どのように NPF の装置を利用し問題を解決するのが最適かを、研究者及びスタッフが利用者と共に検討する。
- (2) 機器利用：先端機器を利用者自らが操作してデータを取得する。
- (3) 技術指導（技術補助）：スタッフが操作方法を指導し

ながら利用者が機器を操作し、データを取得する。

- (4) 技術代行：技術的に高度で習熟に時間がかかる機器を利用する場合、もしくは利用者が遠方において自分で装置を操作することができない場合、NPF のスタッフが装置の利用を代行する。
- (5) 共同研究：利用者とスタッフが産総研の共同研究規定の下で共同研究を行い、成果を発信する。

これらの利用はインターネット上に公開されている“NPF システム [5]”から申請出来る。また、利用者はこのシステムから、NPF にどのような機器があり、その利用

料金やその他技術習得のためのセミナー開催情報を知ることができる。

NPF では多くの装置を取りそろえており、いろいろな要求に応えられるようになってきている。特徴は、分析装置を多く取りそろえているので、成膜した後の評価を同じ施設の中で行えることで評価結果を迅速に次回の実験に反映出来る点にある。また、NPF では、其々の機器に専任のスタッフが張り付く担当制を採っているが、これには、一つの支援内容が多くの機器を使用する一連のプロセスフローになる場合、即ちプロセスインテグレーションを必要とする場合は、目的に応じてプロセス順序、各プロセスの条件の設定等の企画・調整が必要となる。山崎氏は多くの機器・プロセスに熟練しているため、この要請に応えることが出来る。

山崎氏は、リソグラフィ、成膜、エッチング等の一連のプロセス装置を用いる高い支援技術に加え走査型プローブ顕微鏡をはじめとする観察・解析技術にも熟練している。それ故、特に、複数の装置を駆使しなければならないデバイス・インテグレーションが求められる高度な支援において、各装置の特長を把握し、設計から新規プロセス・フローの構築までの技術的なアドバイスを行うことができる。また、各装置担当と連携を図りながら、効率よく円滑に支援を進め、トラブルが発生した際にも解決に向けた調査及び対策を行い解決していく技術力を有している。この技術力による支援が評価され、山崎氏は、「設計から試作まで」と名付けた、若手を対象とする技術スタッフ表彰を受賞することとなった。

ナノテクノロジー総合シンポジウムにおける表彰後のパネル展示には、2つの支援例：(1) 血液流動性評価用マイクロ流路作製、(2) 有機電界効果トランジスター(OFET) におけるコンタクト電極構造の最適化、が示されていた [6]。以下に、山崎氏が、ユーザの要求に応えるために行ったプロセス設計からデバイス試作までの支援活動の具体的内容を紹介する。



## 2. 血液流動性評価用マイクロ流路作製：新規プロセスの設計

ユーザは、医療関係の試験機を研究開発しているベンチャー企業である。依頼内容は、「技術代行」であり、Si ウェーハ上への「流路の入り口側と出口側に動脈と静脈を模した幅広くかつ深い溝状流路が配置されており、その動脈と静脈の溝状流路間は毛細管を模した幅が狭くかつ浅い、ある定まった寸法の流路で連結した血液流動性評価用マイクロ流路作製」である。今回の試作で設計した毛細管を模した流路寸法は 16 種類あり、従って 16 種類のマイクロ流路作製となる。もともとは、ウエットエッチングでもっと大きな構造を造っていたが、構造を小型化にしてかつ側壁形状を変えたいということで NPF に依頼してきた。ユーザが作りた構造（ポンチ絵と寸法、寸法は定量的に指定）を基に、丁寧なヒアリングを重ねることで双方が納得するデバイスサイズ 16mm × 8mm の最終的な設計図にまとめた。図 1 に完成した血液流動性評価用マイクロ流路の顕微鏡写真を示す。

これを実現するためのプロセスを検討する上で、フォトリソグラフィには、コンタクトマスク露光、マスクレス露光、i 線露光、EB（電子線）露光などがあるが、寸法精度 500nm および、後工程のエッチング時の深さ精度の条件出しに数量が必要となることからスループットが大でなければならないということで、i 線露光装置を選んだ。i 線露光装置に用いるレチクルは、16 種類の流路と基本構造を効率的に作製できるよう設計し、1 枚で完結できるようにした。また、1 回の試作で複数の流路を試作できるように設計した。

エッチングは、浅いパターンを形成しておき次いで深いパターンを形成する 2 回のエッチングプロセスとすることにした。この太く深い流路と細く浅い流路をうまく接続しなければならない。大動脈に相当する太い流路に比べ毛細

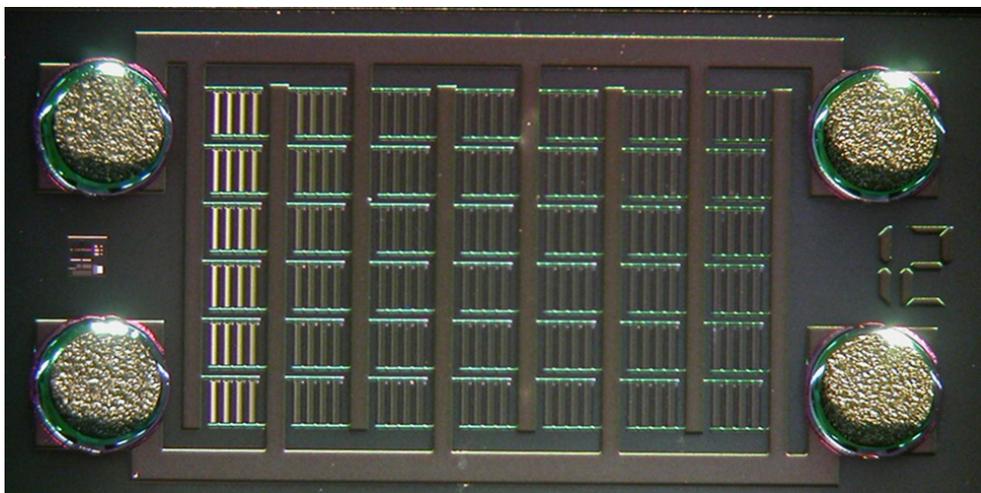


図 1 作製した血液流動性評価用マイクロ流路の写真（提供：山崎氏）

血管に相当する流路は幅が 100 倍以上、深さは 10 倍以上異なることから、アライメント精度が要求される (NPF の i 線露光装置では精度 100nm 以下が可能)。毛細血管に相当する、細く浅いがアスペクト比の大きい流路表面には流れを妨げるような凹凸形成を避ける必要がある。ユーザは今まではウェットエッチングで作製していたので、どうしても流路断面にテーパがついていたが、ユーザの要望でこれを垂直にするためにボッシュプロセス<sup>註1)</sup> [7] を採用することにした。このボッシュエッチングプロセスの出来映えはオペレータの腕によるところが大きい。今回は、山崎氏らとプロセス途中で発生した問題を解決しながら、エッチング担当スタッフが行った。

また、レチクルの設計にあたり、2 種類の深さが接続する部分でのアライメント精度や厚膜レジストでのエッチングマスク性能を、テストレチクルを用いて行った露光で確かめた。さらに、厚膜レジストによって 2 回目のエッチング時も初回エッチング構造が覆われておりエッチングマスクとしても問題がないことを確認した。これらのデータをフィードバックしてレチクル設計を行った。

以上のような検討を含め、パターン設計、マスク CAD 設計からプロセス設計までを行い、厚膜レジストの検討やエッチング時のトラブルをリソグラフィ担当者、あるいはエッチング担当者らと緊密に連携して解決し、さらに改善に向け問題の解決方法や確認方法についてプロセスフローにフィードバックするなどを通して、ユーザが満足する血液流動性評価用マイクロ流路を作製した。

現状ではまだ商品化されていないが、継続して改善のための試作支援を行っているとのことである。

註 1) エッチングとパッシベーション (側壁保護膜形成) を繰り返しながら行う切り替えエッチング方式である。Si のエッチングの場合は、エッチングガスに  $\text{SF}_6$  を用い、レジスト膜の開口部を等方的にエッチングし、Si を  $\text{SiF}_4$  などの形で飛散させる。次に、 $\text{C}_4\text{F}_8$  などのテフロン系のガスを用いて、側壁保護膜を形成する。保護膜を形成したら、エッチングガスに切り替え、サンプルにバイアスを掛けてエッチングすることにより底面の保護膜を除去して、露出した底面のエッチングを進める。これを繰り返すことにより、深く、細くエッチングできる。アスペクト比 100 の深堀エッチングが可能。



### 3. OFET におけるコンタクト電極の最適化

#### 3.1 OFET コンタクト抵抗低減のための電極構造の最適化

ユーザは、有機薄膜トランジスタを研究している慶

応義塾大学理工学部の野田 啓准教授である。依頼内容は、「技術代行」であり、「有機電界効果トランジスタ (OFET) におけるコンタクト抵抗低減につながる知見を得ることを目的とした、電極付き基板の試作」である。この支援では、2 月末～3 月末の 1 ヶ月で、15mm 角の 96 個チップを作製しなければならず、実験の段取りなど、極めて綿密に計画を立てて実施した。

2 層レジストを用いたリフトオフとプロセスフローの提案を行い、マスクパターンに反映した。コンタクトマスクアライナーを用いて露光を行い、真空蒸着装置により成膜を行ない、その後リフトオフすることによって、3 インチウエハ上に目的とする電極構造を作製した (図 2)。

事前検討および工夫点は、以下の通りである。通常のポジ型レジストを用いてリフトオフを行うと、「サイドウォール (バリ)」と呼ばれる突起状の金属パターンが電極周囲に形成されてしまうため、不良な電極ができてしまう (図 3 (a))。そのバリの上に有機半導体膜が形成されることになり、このバリはコンタクト抵抗低減につながる知見を得る目的に対し致命的欠陥になる。このバリをなくす対策として 2 つの方法がある。①ネガレジストを使う。②2 層レジストリフトオフを用いる、である。

ネガレジストを使うと図 3 (b) のようにオーバハングのパターンになり、続く電極材蒸着でバリの原因となる部分がなくなる。ネガ型レジストを使用した場合、歩留まりを高くするには、下地基板により露光量の調整などの条件だしが必要となる。一方、2 層レジストリフトオフの場合、この支援で使用した下層レジストは光反応を起さないで、現像の時に等方的に溶解するので、上層のレジストがオーバハングになり、ネガ型レジストと同じようにバリ問題を解決できる (図 3 (c))。2 層レジストの場合は、レジスト塗布工程と残った下層レジストを剥離する工程が増えるが条件だしは比較的少なく、歩留まり

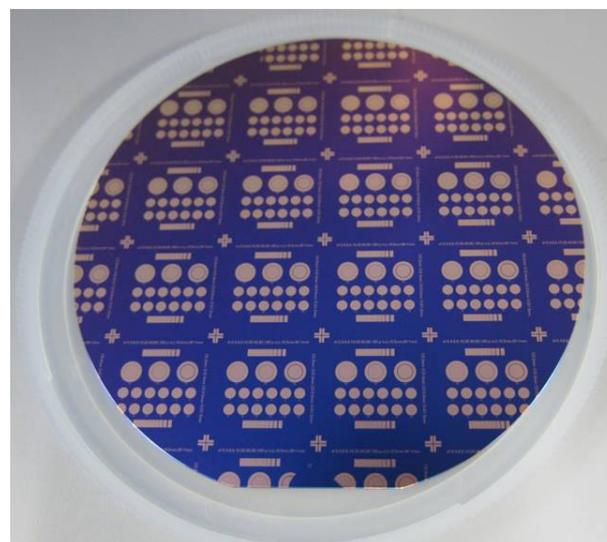


図 2 作製した電極 (提供: 山崎氏)

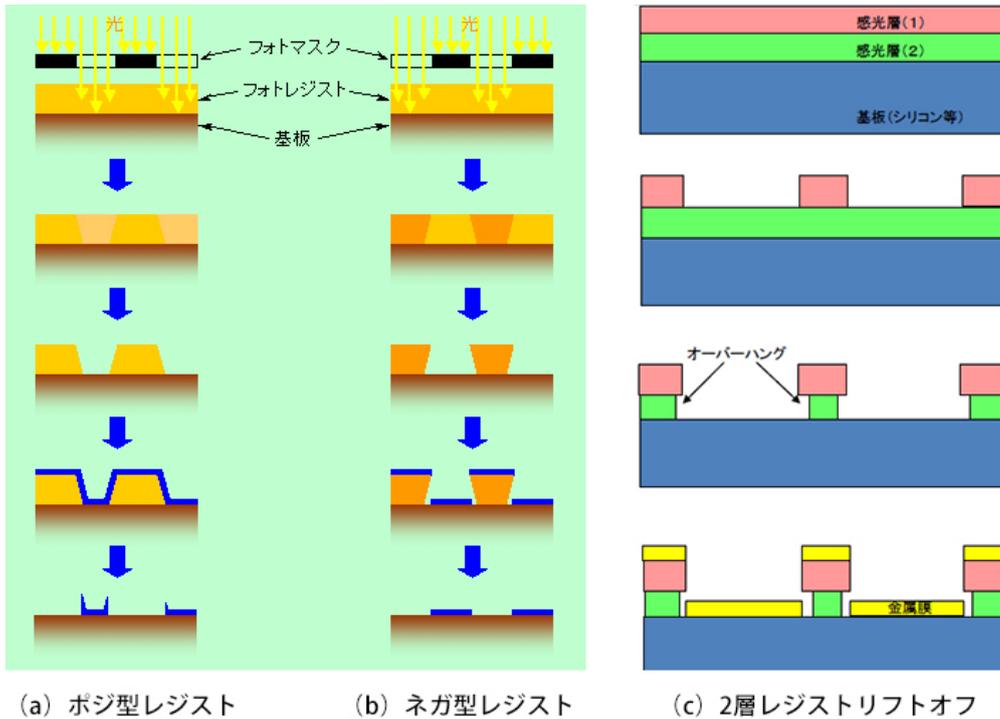


図3 レジストによるリフトオフとバリ発生との関係 (提供: 山崎氏)

も高くとれる。双方共にバリは取れるが、正確に数多く造らねばならない今回の場合、スループットよりも歩留まりが良い2層レジストリフトオフを採用することにした。野田氏も歩留まりが良く、かつ短納期の要求に対応してもらったと満足頂き、報告書にまとめられている [8]。

### 3.2 埋め込み型電極構造による有機トランジスタの特性制御

上記のようにして電極を作成したが、有機電界効果トランジスタ (OFET) におけるコンタクト抵抗のさらなる低減に向けた取り組みの一つとして、ゲート絶縁膜中に埋め込まれたコンタクト電極構造が有効であるか検証を行うための試作を行った。本試作では、電極部分とゲート絶縁部分がスムーズにつながっている形状となることが重要である。

埋め込み電極を造る方法として、凹部 (埋め込み電極になるところ) を含め SiO<sub>2</sub> 部全面に電極材である金の膜を形成し、次いで凹部内の金だけが残るように凹部以外の金を研磨除去することが考えられる。しかし、電極材の金は展延性が大きいので、研磨除去は難しい。即ち、研磨による平坦化処理では目的のレベルでの平坦化処理は困難であった。

試行錯誤の後、写真 (図4) にあるようにきれいに埋め込まれたスムーズな形状を持った金埋め込み電極を産総研の島主任研究員らと共同で作製した。このように NPF の支援活動は、ユーザの要求に応えるため NPF の持つ未公開ノウハウを活用することも多々あるとのことである。

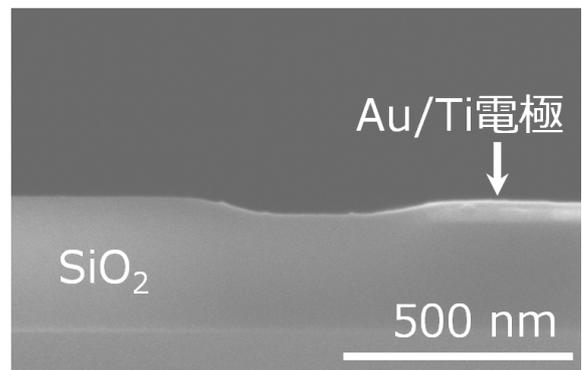


図4 作製した埋め込み電極の断面 SEM 像 (提供: 山崎氏)



## 4. 山崎氏の今後の抱負と新しいユーザへのメッセージ

NPF に勤め始めて 10 年になる。フォトリソ、成膜、エッチングから観察などプロセス全般に係る研究支援業務を担当し、幅広く広がるナノテクノロジーの分野を様々な視点から支援出来るよう日々努めている。途中 2 年半、民間で AFM の研究開発に携わり、修得した各種走査型プローブ顕微鏡に関する観察技術を活かした各種材料やデバイス評価支援も行っている。

現在は、新たに導入された原子層堆積装置 (ALD, Atomic Layer Deposition & super<sup>註2</sup>) [9] もメインの装置担当になり、これを主にオペレートしているところである。NPF の ALD 装置は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などのような絶縁膜だけで

はなく TiN などの導電性を持たせた薄膜も成膜可能であり、多くのことができるようになっている。さらにプリカーサを 8 種類使いこなすことができるので、多くの分野に幅広く展開できる。これをさらに高度利用出来るようにし、ノウハウを蓄積しレベルアップを行う。今後は様々なアプリケーションに適用していきたいと言う。

新しいユーザへのメッセージは、「今回のこの記事を通して、簡便に利用できる先端設備があることを広く知って頂き、うまく利用して頂きたいと考えています。皆様のアイディア実現や課題解決に向かって精一杯支援します。プロセス全般や複数の装置にまたがる事柄など、気軽に相談を持ちかけられることを期待しています。」とのことである。

註 2) ALD：平面のみならず深い穴の側面も薄くてカバレッジ良く絶縁ができる成膜手法。例えば、プリカーサとして有機金属化合物トリメチルアルミニウム (TMA) を真空チャンバー内に置かれている被加工基板に曝し 1 分子層吸着をさせ、残余の TMA を不活性ガスでパージし、次いで水 (又はオゾンや酸素プラズマ) に曝し、吸着されている TMA を酸化し  $Al_2O_3$  に変換する。これで 1 分子層の  $Al_2O_3$  膜が基板上に形成される。これを繰り返すことによって、必要に応じた厚さの膜が形成される。



## 5. おわりに

産総研には、これまで紹介してきた NPF の他にも文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業に参画している先端ナノ計測施設 (AIST-Nanocharacterization Facility : ANCF) [10], 他超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設 (Clean Room for Analog-digital superconductivity : CRAVITY) [11], MEMS 研究開発拠点 (Foundry Facility : MEMS) [12], スーパークリーンルーム (Super Clean Room : SCR) [13] がある。これらでも、ナノテク関連の先端設備の共用サービスを行っており、山崎氏のようなベテランスタッフが活躍している。産学官の研究開発者がこれらを活用することにより社会が求めるイノベーションの促進を期待したい。



## 参考文献

- [1] 文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業」：<http://nanonet.mext.go.jp/about/>
- [2] NanotechJapan ニュース「ナノテクノロジープラットフォーム、平成 27 年度秀でた利用 6 大成果と技術スタッフ表彰受賞者が決定」：[http://nanonet.mext.go.jp/topics\\_gov/?mode=article&article\\_no=3086](http://nanonet.mext.go.jp/topics_gov/?mode=article&article_no=3086)
- [3] 産業技術総合研究所 ナノプロセッシング施設：<https://ssl.open-innovation.jp/npf/>
- [4] 微細加工ナノプラットフォームコンソーシアム：<http://nsn.kyoto-u.ac.jp/>
- [5] NPF 利用申し込み方法：<https://ssl.open-innovation.jp/npf/portal/open-apply/>
- [6] 「設計から試作まで」：[http://nanonet.mext.go.jp/research\\_support\\_award/H27\\_Award\\_3.pdf](http://nanonet.mext.go.jp/research_support_award/H27_Award_3.pdf)
- [7] 「シリコン深掘りエッチング (Deep RIE) における超精密形状制御」：[http://nanonet.mext.go.jp/ntjb\\_pdf/v8n1\\_BestResearchSupportAward2015.pdf](http://nanonet.mext.go.jp/ntjb_pdf/v8n1_BestResearchSupportAward2015.pdf)
- [8] 野田 啓, 山崎 将嗣, 郭 哲維, 「有機トランジスタにおけるコンタクト構造最適化への取り組み」：[http://nanonet.mext.go.jp/ntjb\\_pdf/nanotechEXPRESS-08.pdf](http://nanonet.mext.go.jp/ntjb_pdf/nanotechEXPRESS-08.pdf)
- [9] Oxford-instruments 社ホームページ：[http://www.oxford-instruments.jp/products/plasma-ald-ion-beam/process-type/atomic-layer-deposition-\(ald\)](http://www.oxford-instruments.jp/products/plasma-ald-ion-beam/process-type/atomic-layer-deposition-(ald))
- [10] 産総研, ナノ計測施設 (AIST-Nanocharacterization Facility : ANCF)：<https://unit.aist.go.jp/rima/nanotech/index.html>
- [11] 産総研, 超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設 (Clean Room for Analog-digital superconductivity : CRAVITY)：<https://unit.aist.go.jp/neri/cravity/ja/index.html>
- [12] 産総研, MEMS 研究開発拠点 (Foundry Facility : MEMS)：<https://unit.aist.go.jp/tia-co/orp/mems/index.html>
- [13] 産総研, スーパークリーンルーム (Super Clean Room : SCR)：<https://unit.aist.go.jp/tia-co/orp/scr/index.html>

(真辺 俊勝)