



Ultra
Clean
Room
ウルトラクリーンルーム

ULTRA PRECISION MACHINING RESEARCH CENTER, OSAKA UNIVERSITY



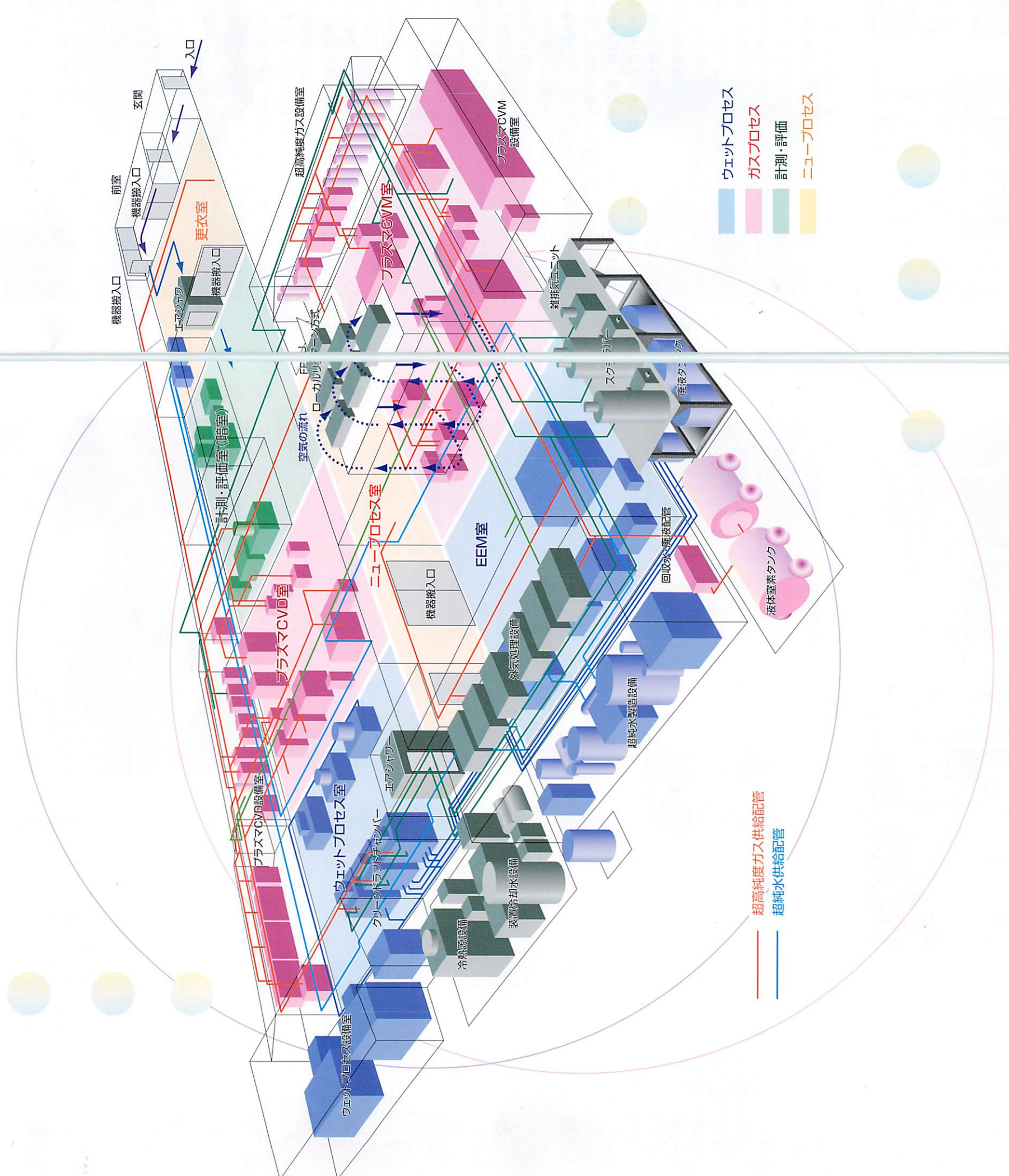
CENTER OF EXCELLENCE
文部省・COE 大阪大学・超精密加工研究拠点

Ultra Clean Room



●大阪大学・超精密加工研究拠点における ウルトラクリーンルームの意義	大阪大学 森 勇 藏	4
●大阪大学・超精密加工研究拠点形成に寄せて	東北大学 大見忠弘	5
●ウルトラクリーンルーム外観		6
●ウルトラクリーンルーム内部		7
●ウルトラクリーンルーム平面図		10
●ウルトラクリーンルーム断面図		11
●ウルトラクリーンルーム技術 概 要		12
●1. クリーンルーム		13
1.1 はじめに		
1.2 クリーンルームに求められる要件		
1.3 クリーンルームの構成と性能		
1.4 清浄化		
1.4.1 汚染物質の速やかな排除		
1.4.2 汚染物質の室内流入防止		
1.4.3 汚染物質の堆積防止		
1.4.4 汚染物質の発生防止		
1.5 室内温湿度の制御		
1.6 超清浄防水型クリーンルーム		
1.7 静電気対策		
1.8 装置冷却水システム		
1.9 排気処理システム		
1.10 電力供給系		
●2. 超高純度ガス供給システム		25
2.1 はじめに		
2.2 超高純度ガス供給システムに求められる要件		
2.3 超高純度ガス供給システムの構成と特徴		
2.4 超高純度ガス供給システムの要素技術		
2.4.1 液化窒素貯蔵タンク		
2.4.2 Cr ₂ O ₃ 不動態処理		
2.4.3 Cr ₂ O ₃ 不動態膜の水濡れ特性		
2.4.4 Cr ₂ O ₃ 不動態膜の耐腐食性		
2.4.5 Cr ₂ O ₃ 不動態膜の非触媒作用		
2.4.6 配管施工		
2.4.7 配管・ガス部材		
2.4.8 高性能小型メタルガスケット継手		
2.4.9 集積化ガスシステム		
●3. 超純水供給システム		34
3.1 はじめに		
3.2 超純水供給システムに求められる要件		
3.3 超純水供給システムの構成と特徴		
3.3.1 一次純水製造システムの機能と特徴		
3.3.2 二次純水製造システムの機能と特徴		
3.3.3 純水回収システムの機能と特徴		
3.4 要素技術		
3.4.1 低圧・高脱塩率の逆浸透処理装置および 電気再生式連続イオン交換処理装置		
3.4.2 選択的ホウ素除去技術		
3.4.3 高性能ガス透過膜による溶存ガスフリー超純水技術		
3.4.4 二次純水製造用クリーンイオン交換樹脂技術		
3.4.5 外圧型の中空糸限外濾過処理装置		
3.4.6 低発塵クリーンポンプ		
3.4.7 システムエンジニアリング		
●4. 高性能薬液洗浄システム		46
4.1 はじめに		
4.2 薬液洗浄システムに求められる要件		
4.3 高性能薬液洗浄システムの構成と特徴		
4.4 クリーンドラフトチャンバー		
4.4.1 構成と特徴		
4.4.2 水平エアカーテン		
4.5 廃液処理システム		
●5. 安全管理システム		50
5.1 はじめに		
5.2 安全管理システムに求められる要件		
5.3 安全管理システムの構成と特徴		
5.3.1 防災設備の概要		
5.3.2 ユーザーと管理者に対する危険情報の自動通報		
5.3.3 危険信号の検知		
5.4 安全管理システムを支える要素技術		
5.4.1 指紋照合技術		
5.4.2 漏水検知技術		
●大阪大学吹田キャンパス配置図・交通案内図		58

目 次
CONTENTS



- ウェットプロセス
- ガスプロセス
- 計測・評価
- ニュープロセス

- 超高純度ガス供給配管
- 超純水供給配管

ULCR



大阪大学・超精密加工研究拠点における ウルトラクリーンルームの意義

大阪大学・超精密加工研究拠点 研究リーダー 森 勇藏



「超精密加工」という言葉は、昭和38年(1963年)頃、米国においてUltra-Precision Machiningとして、人工衛星に関連した加工の論文で使われたのが初めてである。これに刺激され、恩師故津和秀夫先生が精機学会(現精密工学会)に超精密加工分科会(専門委員会)を設立され、我が国で初めて超精密加工という言葉が使われたのである。当時、精度の高い加工といえば機械加工であり、超精密加工といっても形状精度 $0.1\mu\text{m}$ 、表面あらさ $0.01\mu\text{m}$ 程度であるが、機械要素の加工としては申し分のない高い精度であった。また、機械加工は、人類始まって以来、石器時代から主に経験に裏付けされた素晴らしい加工法として発展し、今日でも大いに人類に貢献していることは言うまでもない。

ところで、人類が成し得る加工の究極といえ、物の形を構成している最小の単位が原子であることから、当然原子の大きさ($0.0002\mu\text{m}$)までであると断言できるのであるが、それを機械加工で可能なのか、それ以外に新しい加工法があるのかという自問自答の末、材料内の欠陥の運動、増殖にもとづく機械加工では不可能であるという帰結に達し、新しい物理化学的な現象による原子単位の加工への挑戦が始まったのである。そのとき、筆者は25歳、今から32年前のことである。当時、我が国は大量生産が至上命令の時代、原子単位の加工ができたとしても何の役に立つのかも見えず、時が経ても、筆者が生きている間に役に立つとも思えなかったものである。しかし、世の中の進歩は目覚ましく、30年を経て原子レベルの加工があらゆる先端技術や基礎科学の分野で必要となってきたのである。

大阪大学・超精密加工研究拠点の研究テーマは「完全表面の創成」である。“完全表面”という言葉は抽象的で非科学的に見えるが、その中に多くの物理的意味を包含したつもりである。過去における高精度の表面は幾何学的に平らであればよかったのであるが、今やそれは一つの必要条件でしかないのである。完全表面(層)の創成とは、人類が神の摂理(物理現象)にもとづいて考え出した理想的な原子配列を創成することであり、それによって未だ経験したことのない新しい電子物性の発現を体験しようとすることに他ならないのである。言い換えれば、現在の先端科学技術の求めている心髄は、原子配列の操作

による電子状態のコントロールと言っても過言ではなく、具体的には、超LSI、太陽電池、超高精度光学素子など、その分野は枚挙にいとまがないのである。

しかるに、以上のような理想的な物理・化学現象の発現を実験、観察しようとした場合、理想的な環境を兼備しなければ、科学の本質である再現性を保証することは不可能であり、ここにウルトラクリーンテクノロジーの重大な意義を見出すのである。最表面や極表面層の物性を云々する場合、極微量の不要な不純物の混入は論外である。計算物理から思考した場合、極微量の不純物の存在は、長距離に影響を及ぼし、新しい物理の発見にペールをかぶせることになる。それゆえ、次世代をになう新しい加工、成膜、物理計測など、極限技術の研究を行う上で必ず付帯してくる環境、空気、水、ガスの原子、分子レベルでのウルトラクリーン化技術は先端科学技術にとって必須技術となるのである。

この度、大阪大学・超精密加工研究拠点に、世界最高性能のウルトラクリーンルームを設置することができましたのは、文部省をはじめとして、大阪大学本部ならびに工学部の関係各位の御支援の賜と衷心より御礼申し上げます。また、東北大学の長見忠弘教授が長年にわたり築いてこられたウルトラクリーンテクノロジーのすべてを投入していただき、その技術開発に参画されてきた多くの企業の方々も天下国家のためと御奉仕くださった結果と肝に銘じております。

本冊子は、大阪大学・超精密加工研究拠点に設置されたウルトラクリーンルームの最新のウルトラクリーンテクノロジーを公表し、現状の技術を理解していただくとともに、今後の大阪大学での新展開を期して発行するものであります。大阪大学・超精密加工研究拠点での本来の研究成果につきましては、学会発表、国際会議の開催、報告書の作成などによって逐次世界に発信する予定です。

本拠点におきまして、大いなる研究成果をあげるべく、大阪大学精密科学専攻の総力を結集して研究に邁進することはもちろんであります。この場を学・産・官・学の素晴らしい共同研究の場として活用し、多くの成果を共有できればと考えております。今後とも関係各位の御指導、御支援を心からお願い申し上げます。



大阪大学・超精密加工研究拠点形成に寄せて

東北大学 教授 大見 忠弘



大学は新しい学問を創出する場である。新しい着想はある研究者の頭の中に誕生する。着想が新しければ新しい程、その内容は定説化している従来の学問の常識とはかけ離れた姿形になり、その内容を適切に表現する言葉すら存在しないのが通常である。その新たな着想が正しいか否かを指摘できる人は誰もいない。正しく行われた実験結果だけがその正否を判断する。

未知の要因に左右されることのない完全な再現性を有する完全な実験技術が、新しい学問の創出を役割とする大学には不可欠なのである。超LSI(大規模集積回路)技術の格段の飛躍を可能にする金属基板SOI(Silicon On Insulator)LSIを着想して、筆者は半導体表面・界面を完全に制御するために、一切の汚染を排除し、かつ結果に影響を与えるすべてのパラメータを所定の値に制御する環境制御技術、すなわちスーパークリーンルーム技術、超純水供給技術、超高純度薬品供給技術、超高純度プロセスガス供給技術、装置技術等の全面開発に1980年代前半から着手した。分かり易く言ってしまえば、目標を実現するために必要な道具類は全て作り上げようということである。

ウルトラクリーン技術(Ultraclean Technology)と総称される半導体製造用環境制御技術の開発は現時点でも継続中であるが、多くの志の高い方々の協力を得てほぼ初期の目標を達成する段階に達している。ウルトラクリーン技術を貫く技術思想は次の3原則に集約される。

- ① Ultraclean Wafer Surface (完全に制御されたいきれいな基板表面)、
- ② Ultraclean Process Environment (完全に制御されたいきれいなプロセス空間)、
- ③ Perfectly Parameter Controlled Process (結果に影響を与えるすべてのパラメータを完全に制御したプロセス)。

0.25 μm 以降の超LSI生産には従来技術の延長では突破できない多くの困難な課題が山積している。半導体産業界は、今まさに0.25 μm 超LSIの生産を開始しようとしている。東北大学の提唱により作り上げられた学問に裏付けられた半導体基盤技術がいよいよその本格的な出番を迎えたのである。遠い将来に必要な技術を洞察して、あらかじめ作り上げておくことが大学の役割でもある。どうやら間に合ったというのが今の筆者の思いである。

文部省のCOE(Center Of Excellence)に選ばれた森勇藏教授から、大阪大学に形成する超精密加工研究拠点に、ウルトラクリーン技術を全面導入したいとの要請を受けた。筆者に異論のあろうはずはない。地球規模の大競争時代を迎えて、国内産業の弱体化に直面するわが国では今、新規産業創出のための産学連携強化の要請が強い。スケールの大きい骨格の部分から新規産業を創出しようとすると、現状技術にいっさい拘束されず、理想のあるべき姿、極限の姿を原理原則に基づいて考えることが日常化している大学人の主体的参加が不可欠である。新たな技術体系の骨格を定める基本特許取得が大学の大きな役割なのである。産学連携を有効に機能させるには、大学間連携による大学の研究開発能力強化が大前提となる。わが国から誕生した新しい学問、技術を逸早く互いに活用し合うことが、世界に先駆けて新規産業をわが国から創出する殆ど唯一の道である。

大阪大学大学院工学研究科精密科学専攻に世界最高性能のスーパークリーン研究拠点が完成した。学内、他大学並びに産業界とも連携し、わが国の英知を結集しながら連続して新しい技術、新しい学問を創出されることを熱望する。



外観（北面）



外観（南面）



入口



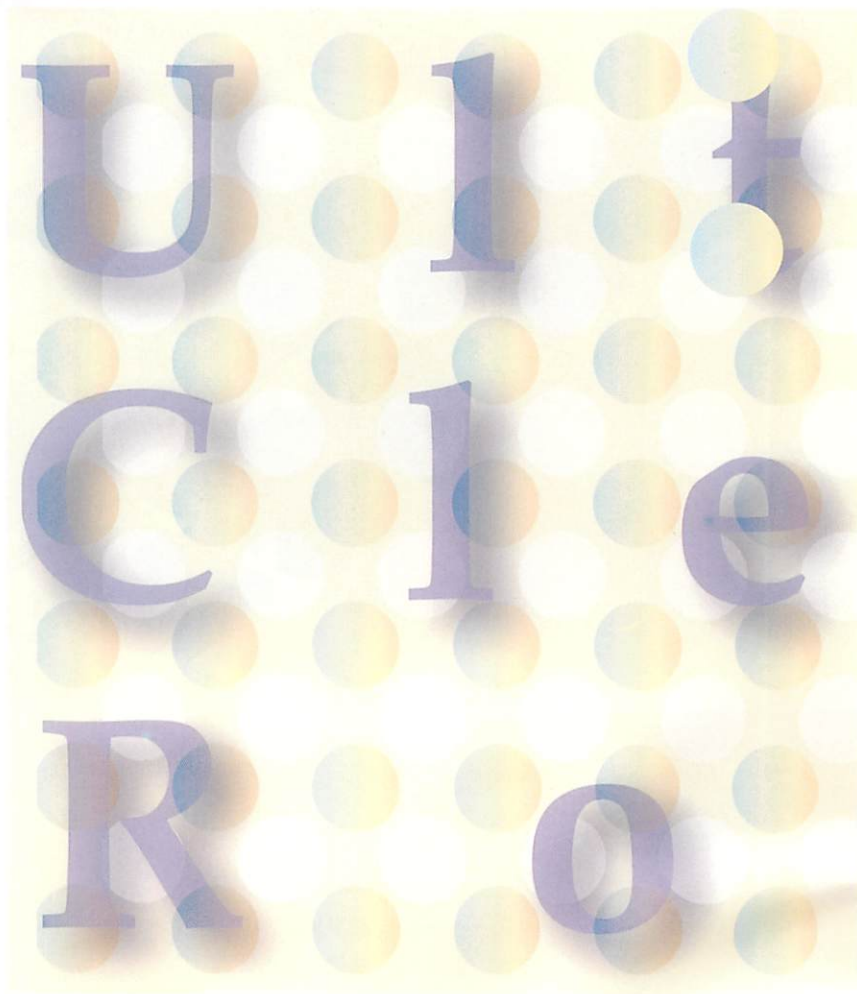
冷熱源設備



排気、廃液処理設備



超高純度ガス設備室





更衣室 (Class 1000)
安全管理用集中制御盤、クリーンルーム内モニターシステムを装備しています。



計測・評価室 (Class 1)
光学測定用暗室、STM実験用防音室を設置しています。



プラズマCVD室 (Class 1)
Cr₂O₃不動態処理配管系を採用した世界最高性能の超高純度ガス供給系(成膜用)を備えています。



プラズマCVM室 (Class 1)
Cr₂O₃不動態処理配管系を採用した世界最高性能の超高純度ガス供給系(加工用)を備えています。



EEM室 (Class 1)
壁面・床面に耐水性材料を使用し、撥水性ULPAフィルターを採用した世界初の防水仕様の超高清浄度クリーンルームです。



ウェットプロセス室 (Class 1)
大口径シリコンウエハ、全長1mのSR光ミラー等の大面積試料の洗浄が可能な、少排気量型クリーンドラフトチャンバーを設置しています。

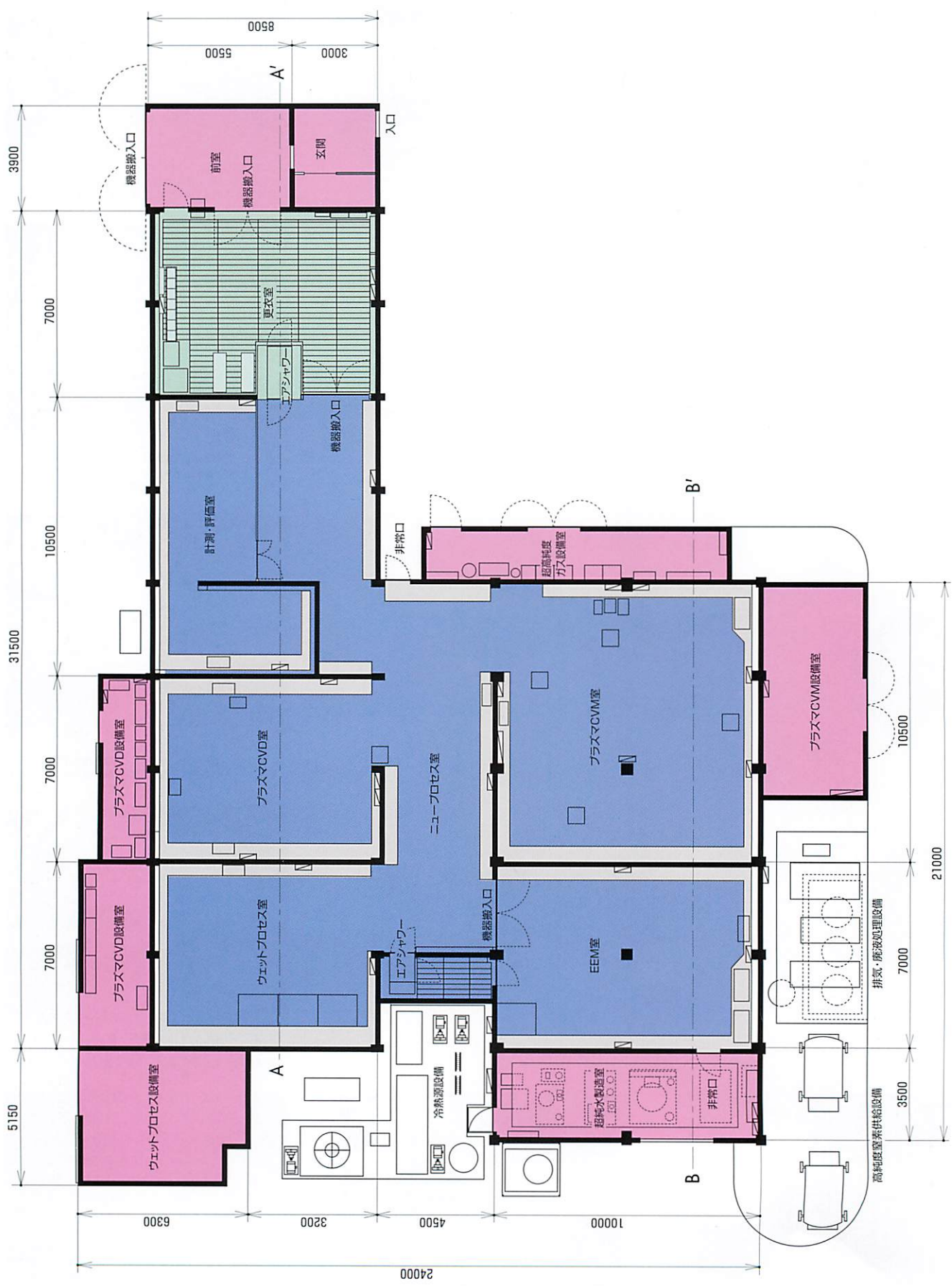


ニュープロセス室 (Class 1)
装置冷却用一次純水、雑排気用ポートなどのユーティリティを備え、今後開発される新しい装置を設置するためのスペースです。正面はEEM室出入口のエアシャワーを示しています。



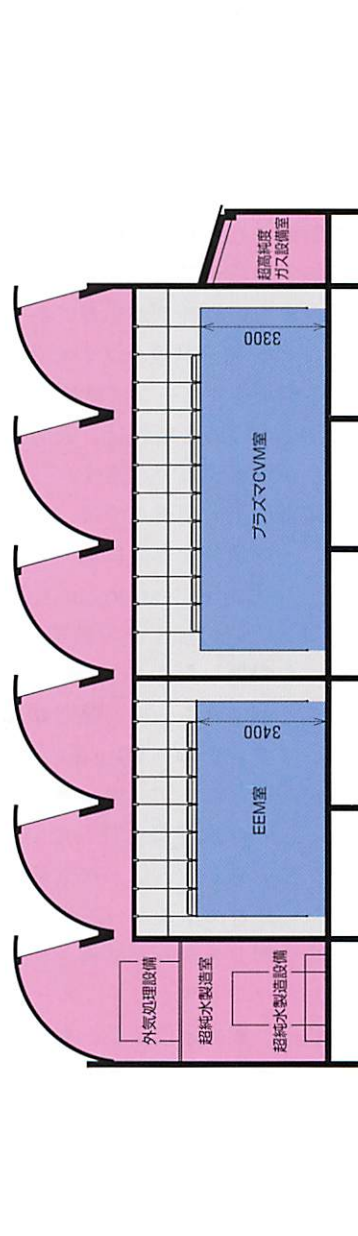
超純水製造室 (クリーンエリア外)
世界最高性能の超純水を製造し、各室に供給します。







A-A'断面



B-B'断面

概 要

大阪大学・超精密加工研究拠点では、新しい原理に基づく超精密加工技術を開発するとともに、超精密加工を科学的根拠に基づく学問領域として体系化することを目指しています。任意形状でありながら原子レベルで表面構造が制御された表面(完全表面)の創成は、従来の機械加工法では不可能です。完全表面は、基礎科学に立脚して原子の振る舞いを明らかにすることによって開発される、これまでにない超精密加工技術によってのみ創成が可能となります。すなわち、完全表面を創成することは、新現象の発見や新しい学問分野の創出につながっています。

完全表面を創成するため、大阪大学・超精密加工研究拠点において研究・開発されている、EEM(Elastic Emission Machining)は、超純水中の微粒子表面と固体表面間の化学的相互作用を、プラズマCVM(Chemical Vaporization Machining)は、大気圧プラズマ中のラジカルと固体表面間の化学的相互作用を利用する、全く新しい原理に基づく超精密加工法です。したがって、EEMでは、水中での微粒子や固体表面の原子レベルでの振る舞いと水の機能との因果関係を解き明かす必要があり、プラズマCVMでは、大気圧プラズマ状態の解明、固体表面とラジカルとの反応素過程の解明が必要です。このような超精密加工技術の応用には、シンクロトン放射光(SR)用ミラー、重力波検出用の光共振器等の開発があり、それらは最先端科学分野の発展の鍵を握っています。日本の将来を担う産業の一つである半導体分野においては、次世代プロセスに不可欠のステップ用非球面レンズや、SOI(Silicon on Insulator)ウエハの作製のために、完全表面を創成する超精密加工技術の開発が、最重要課題となっています。

原子レベルで制御された超精密加工を実現するためには、クリーンな材料、クリーンな表面、およびクリーンな加工環境が必要となります。すなわち、水を用いるEEMや試料洗浄プロセスでは、汚染物質を全く含まない超純水が必要であり、プロセスガスを用いるプラズマCVMや大気圧プラズマCVDプロセスでは、超高純度ガスが必要です。さらに、大気から微粒子等を除去し、プロセス装置を設置している環境をクリーンに維持するクリーンルームが不可欠です。完全表面を創成するためのクリーンな加工環境の必要性は、表面科学の最近の急速な進歩が、超高真空技術の開発によって促進されたことから理解できます。

大阪大学・超精密加工研究拠点では、新しい超精密加工技術の研究・開発に必要な独自のクリーンルームを提案し、空調・除塵系に加えて超高純度ガス、超純水、高性能薬液洗浄系を備えたウルトラクリーンルーム(Ultra Clean Room: UCR)を完成しました。その特徴として、超純水に微細粉末粒子を懸濁させた大量の加工液の供給と管理が要求されるEEM室のために、防水型の超高清浄度クリーンルームを開発したこと、プラズマCVM室、プラズマCVD室では、加工や成膜に大気圧プラズマを用いることができる、超高純度ガス供給・除害システムを設置したこと、ウェットプロセス室では、大口径シリコンウエハや1m長のSR光用ミラー等、大面積試料に対応できる洗浄設備を開発したこと、等があげられます。ウルトラクリーンルームには、水、ガスおよび装置設置雰囲気のクリーン化技術として、現在最も進んでいるウルトラクリーンテクノロジーが導入されています。また、ウルトラクリーンルームは、排気量の低減化、超高純度ガスの精製循環、超純水の回収再利用等、環境に配慮した省エネルギー思想に基づく設計がなされており、さらに、研究条件にきめ細かく対応した安全管理システムが整備されています。

本拠点に完成したウルトラクリーンルームでは、世界最高レベルの技術が用いられ、空調除塵系、超高純度ガス供給系、超純水供給系、高性能薬液洗浄系の性能が格段に向上しています。ウルトラクリーンルームにおける加工環境制御技術は、完全表面創成のための理想的な場を与えるとともに、最も再現性の高い実験結果を与えることにより、超精密加工分野における研究の推進に貢献します。そして、大阪大学・超精密加工研究拠点は、最先端の研究環境において、先導的研究に携わる機会を提供することにより、世界をリードする多くの指導者、研究者を育成することに貢献します。

以下の各章では、クリーンルーム、超高純度ガス供給システム、超純水供給システム、高性能薬液洗浄システム、安全管理システムについて説明します。