

「新機能創出ガラスの加工技術開発プロジェクト／
三次元光デバイス高効率製造技術」
事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	1 1
評点結果	1 7

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「新機能創出ガラスの加工技術開発プロジェクト／

三次元光デバイス高効率製造技術」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成23年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	やざわ てつお 矢澤 哲夫	兵庫県立大学大学院 工学研究科 物質系工学専攻 教授
分科会長 代理	すはら としあき 栖原 敏明	大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授
委員	かどの こうへい 角野 広平	京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 物質工学部門 教授
	こんどう やすし 近藤 泰志	株式会社島津製作所 分析計測事業部 技術部 新規事業開発グループ グループ長
	にわ たつお 丹羽 達雄	株式会社ニコン 新事業開発本部 主幹
	みさわ ひろあき 三澤 弘明	北海道大学 電子科学研究所 所長・教授
	よこお としのぶ 横尾 俊信*	京都大学 化学研究所 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：京都大学大学院工学研究科材料化学専攻）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

プロジェクト概要

概要

		最終更新日	平成 23 年 6 月 23 日
プログラム（又は施策）名	ナノテク・部材イノベーションプログラム/ITイノベーションプログラム		
プロジェクト名	三次元光デバイス高効率製造技術	プロジェクト番号	P06029
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 坂井数馬（平成 23 年 06 月現在） ナノ部 担当者氏名 坂井数馬（平成年 19 月～平成年 06 月）		
0. 事業の概要	<p>ガラスは社会の広範な分野で欠かせない基幹材料となっており、情報通信の超高速大容量化や各種機器の小型・軽量化、省エネ化等のニーズに対応するためには、今後ますます高機能化が求められる。ガラスは結晶材料に比べ、組成の選択範囲が連続的で広く、かつ構造の自由度が大きい。このため組成と構造の多くの組み合わせが可能で、それに伴い種々の潜在的特性・機能があると考えられる。しかし従来技術は、組成の制御と熱処理等、マクロな構造制御に終始しており、ごく一部の特性や機能しか実現できていない。ガラスが本来有している潜在的な特性や機能を有効に引き出すためには、ガラス母材とはその物性の異なった異質相をガラス内部に作製し積極的に新たな機能をガラスに誘起する必要がある。このような基盤技術の開発は「ナノガラス技術」プロジェクト(H12～H17)で実施されてきた。</p> <p>本プロジェクトでは、「ナノガラス技術」プロジェクトで得られた基盤技術を実用的な加工技術へと発展させるものであり、ホログラム等の波面制御素子による空間光変調技術を確立し、フェムト秒レーザーとの組合せによりガラス中に三次元造形を高精度かつ高速に一括形成できる加工プロセス技術を開発する。またこの技術を用いて、具体的な光デバイスを作製し、当該技術の有効性の確認と市場への早期参入のための基盤技術を確立する。</p> <p>今回開発を行う技術によって、光情報処理の基本デバイス(光スイッチ、光増幅器、合分波)の開発が加速化されるとともに、近い将来には、集積化された光回路デバイスの実用化が可能となり、中長期的な光技術の競争力の確保につながる。また、デジカメのレンズ等の従来の光学デバイスの中に機能を付加することが可能となり、より高機能な性能を持つ部材開発を加速する。</p> <p>具体的な事業内容は次のとおり、</p> <p>【研究項目①デバイス化加工用ガラス材料技術】</p> <p>【研究項目②三次元加工システム技術】</p> <p>【研究項目③三次元加工システム応用デバイス技術】</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【NEDOが関与する意義】</p> <p>本プロジェクトで開発するホログラムを用いたガラス内部への加工技術は、ニューガラスフォーラムが2003年9月に国内の学会で初めて報告、以降、米国の国際学会でも報告する等、我が国が世界をリードしているところであるが、将来における当該分野の競争力を確保するためには、ガラス内部に数十ナノメートルオーダーで一括加工する技術を世界に先駆けて確立することが必要であり、複数の研究機関及び企業の知見を集結する必要があるため、民間企業の自主的な取り組みでは難しい。従って、NEDOの関与により「産業化を視野に入れた基盤技術の開発といった、市場原理のみでは、戦略的・効果的に達し得ない領域の研究開発を、重点的に実施する(科学技術基本計画)」ことが必要である。</p> <p>【実施の効果（費用対効果）】</p> <p>費用:【開発予算】に記載。</p> <p>効果:本プロジェクトの成果による民間需要創出効果(平成 27 年:2015 年)は 2015 年で約 1 千</p>		

	<p>300 億円、2020 年には 2 千億円を上回るものとする。また、現プロジェクトでの本加工システムの有効性の実証対象としている導波路型デバイスと光学デバイスの市場は、三次元光デバイスの市場のほんの一部であり、そのマーケットは数兆円と見られている。従って、実証対象としているデバイス以外の市場での適用も考えられ、また材料としてガラス以外でも使用できるために、新たなその他の大きな市場を期待でき、本プロジェクトの事業規模を 16.6 億円(平成18年度から平成22年度までの総予算額)としていることから、本プロジェクトは投資より大きな需要を創出するものと見込まれる。</p> <p>【事業の背景・目的・位置付け】</p> <p>本プロジェクトは経済産業省が策定した「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の情報通信領域・光デバイス・三次元光デバイスに位置付けられ、製造業の国際競争力強化の為にナノテクノロジーの確立に必要な共通基盤技術の開発に位置付けられている。</p> <p>また、本プロジェクトで開発しようとする技術は、ナノテクノロジー技術戦略マップの光デバイス分野における「光導波路／光伝送／合分波」の「簡易作成法・実装法による光導波路作製技術」に適用され得るものであり、さらに「三次元造形／光加工」の「フェムト秒レーザーによる三次元加工」としても位置付けられている。</p> <p>また、「三次元光デバイス高効率製造技術」は総合科学技術会議において革新的技術戦略における高速大容量通信網技術・オール光通信処理技術の一部として登録された。本技術の確立により、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギー等の広範な分野において、従来技術では実現できなかった新しい機能を持つ光学デバイス等の創造が期待される。また本技術はガラスのみならず有機材料や半導体材料へも適用可能であり、将来、幅広い産業分野で利用される製造技術となることが見込まれる。</p>
--	---

II. 研究開発マネジメントについて

<p>事業の目標</p>	<p>【事業の目標】</p> <p>平成22年度までに、フェムト秒レーザー照射等により、デバイス化加工用ガラス材料技術、三次元加工システム技術として波面制御三次元加工技術と空間光変調器三次元加工技術を確立する。また具体的なデバイスへの適用を前提に、三次元加工システム応用デバイス技術として三次元光学デバイス技術と三次元光回路導波路デバイス技術に取り組み、「三次元光デバイス高効率製造技術」の有効性の実証を行う。</p> <p>尚、本プロジェクトで開発しようとする技術は、ナノテクノロジー技術戦略マップの光デバイス分野における「光導波路／光伝送／合分波」の「簡易作成法・実装法による光導波路作製技術」に適用され得るものであり、さらに「三次元造形／光加工」の「フェムト秒レーザーによる三次元加工」としても位置付けられている。本技術の確立により、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギー等の広範な分野において、従来技術では実現できなかった新しい機能を持つ光学デバイス等の創造が期待される。また本技術はガラスのみならず有機材料や半導体材料へも適用可能であり、将来、幅広い産業分野で利用される製造技術となることが見込まれる。これ等を本プロジェクトの広義での全体目標とする。</p>																		
<p>事業の計画内容</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="510 1720 710 1787">主な研究開発実施事項</th> <th data-bbox="710 1720 861 1787">H18fy</th> <th data-bbox="861 1720 1045 1787">H19fy</th> <th data-bbox="1045 1720 1228 1787">H20fy</th> <th data-bbox="1228 1720 1412 1787">H21fy</th> <th data-bbox="1412 1720 1532 1787">H22fy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="510 1787 710 1859">デバイス化加工用ガラス材料技術</td> <td data-bbox="710 1787 861 1859">→</td> <td data-bbox="861 1787 1045 1859"></td> <td data-bbox="1045 1787 1228 1859"></td> <td data-bbox="1228 1787 1412 1859"></td> <td data-bbox="1412 1787 1532 1859">→</td> </tr> <tr> <td data-bbox="510 1859 710 1930">三次元加工システム技術</td> <td data-bbox="710 1859 861 1930">→</td> <td data-bbox="861 1859 1045 1930"></td> <td data-bbox="1045 1859 1228 1930"></td> <td data-bbox="1228 1859 1412 1930"></td> <td data-bbox="1412 1859 1532 1930">→</td> </tr> </tbody> </table>	主な研究開発実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	デバイス化加工用ガラス材料技術	→				→	三次元加工システム技術	→				→
主な研究開発実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy														
デバイス化加工用ガラス材料技術	→				→														
三次元加工システム技術	→				→														

	三次元加工システム応用 デバイス技術					→
	成果とりまとめ					→
開発予算 (会計・勘定 別に事業費 の実績額を 記載)(単位: 百万円) 契約種類: ○をつける (委託(○) 助成() 共同研究 (負担率 ())	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy
	一般会計	372	356	340	313	235
	特別会計 (電源・需給の 別)					
	加速予算(成果 普及費を含む)	20	19			
	総予算額	392	375	340	313	235
	(委託) ----- (助成) : 助成率△/□ ----- (共同研究) : 負担率△/□					
開発体制	経産省担当原 課	製造産業局住宅産業窯業建材課				
	プロジェクト リーダー	(※プロジェクトリーダーが交代した場合は、前任者の所属・氏名も記載) (※サブプロジェクトリーダーやグループリーダーを設置している場合はその所 属・氏名を記載) 国立大学法人 京都大学 平尾 一之教授 サブプロジェクトリーダー: 三浦清貴(京都大学)、原 勉(浜ホトニクス)、 田中修平(ニューガラスフォーラム)				
	委託先(*委 託先が管理 法人の場合 は参加企業 数および参 加企業名も 記載)	国立大学法人京都大学 浜松ホトニクス株式会社 社団法人ニューガラスフォーラム				
情勢変化への 対応	<p>・ 内閣府(総合科学技術会議)において革新的技術戦略(平成20年4月10日)における高速大容量通信網技術-オール光通信処理技術-の一部として「三次元光デバイス高効率製造技術」プロジェクトが登録された。この革新的技術により、スイッチ・経路処理を含め、ネットワークのオール光化技術により、爆発的に増大する情報を処理可能とする一方で、ネットワークにおける電力効率を数十倍程度向上した超高速基幹ネットワークの構築が可能となる。また、次世代イーサネット規格等の国際標準の獲得をも目指した技術確立等により、我が国の国際競争力が強化される。</p> <p>これに対応すべく、三次元光デバイス高効率製造技術の研究開発を従来以上に活発に進めていく。</p> <p>・ フェムト秒レーザー加工をより高性能化するには、レーザーの高出力化により異質相形成のメカニズムを解明する必要があることが分かり、加速資金にて京大におけるフェムト秒レーザーの高出力化を行い、異質相形成のメカニズムの解明に役立たせた。</p>					

		<ul style="list-style-type: none"> 定期的に開催する研究推進・業務委員会にてその他の情勢変化やその対応を議論・検討した。
中間評価結果への対応		<p>(中間評価を実施した事業のみ)</p> <p>京都大学</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 基礎的な技術開発にも注力すること。 <ul style="list-style-type: none"> ・“LCOS-SLM を利用し、曲線導波路、分岐導波路を一括描画するためのホログラム作成方法の基礎検討（アルゴリズム等）を行った。 <p>浜松ホトニクス</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 該当なし。 <p>ニューガラスフォーラム</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 光集積回路の実現においてアクティブ素子を如何にして実現するか。 <ul style="list-style-type: none"> ・アクティブ素子実現のための基礎実験を行った。 ・フェムト秒レーザーの照射部のみが発光する条件を発見した。この現象を利用するとレーザー発振の可能性があり、これには数センチメートル以上の長さの光導波路が必要である。これはホログラムを使用した一括描画で作製できる。 ● ホログラフィック加工に並行してその他の要素技術をどうするか。 <p>下記の種々の技術を開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高速長尺ホログラフィック加工による穴あけ技術の要素技術を開発した。 ・ホログラフィック加工と光学系を組合せた加工システム技術を開発した。 ・レーザー光の入射方向への伸びを抑える技術を開発した。 ・レーザー光を有効に使用できる材料作製技術を開発した。 ● 基礎的な技術開発にも注力すること。 <ul style="list-style-type: none"> ・レーザー光とガラス材料との反応の素過程を考察し、上述の入射方向への伸びの少ない加工技術を開発した。また、これらの考察を基に低エネルギーで加工できる技術を開発した。 ・デバイス作製時の加工エネルギーが少ない新型光学素子の基礎的検討と素子の試作を行いその機能を確認した。
評価に関する事項	事前評価	平成 17 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部
	中間評価	平成 20 年度 中間評価実施
	事後評価	平成 23 年度 事後評価実施予定
Ⅲ. 研究開発成果について		<p>ホログラムによる三次元でのミクロンレベルの一括加工が可能であることが世界で初めて実証された。また、プロジェクトの全ての目標は達成され、一部の成果は実用化に向けて展開されている。</p> <p>以下に個別テーマ毎に記す。</p> <p>研究開発項目①デバイス化加工用ガラス材料技術</p> <p>(1)デバイス加工用ガラス材料技術(国立大学法人京都大学、社団法人ニューガラスフォーラム)</p> <p>フェムト秒レーザーの集光照射により誘起される異質相の形成メカニズムを解明することで、異質相形成のガラス材料依存性を明らかにし、データの体系化を行った。また、新規な異質相形成としてガラス内部からの Si 析出や元素分布形成とその形状制御に成功すると共に、これら新しい現象のメカニズムも明らかにした。一連の研究により、ガラス材料内部加工の基礎を確立することができた。</p> <p>(2)三次元光学デバイス用ガラス材料技術(社団法人ニューガラスフォーラム)</p> <p>ホログラムを用いた一括加工での加工条件の最適化の検討を行った。具体的には、逐次</p>

照射加工でガラス母材と異質相との屈折率差が 0.015 以上を確認されたガラスに対して、ガラス・ホログラムを用いた一括加工により～0.01 秒以下の照射時間でライン状の加工ができることを確認した。これにより、光学デバイス用の加工に適用できることが原理的に確認できた。また、上記ガラスとは別に、以前と同じ逐次レーザー加工において 75%のエネルギーで $\Delta n=0.015$ を実現するガラス母材を開発した。

(3)三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術(国立大学法人京都大学、社団法人ニューガラスフォーラム)

空間光変調器を利用した一括加工光学システムおよびホログラム作成プログラムを構築し、ダンマングレーティングおよび Y 分岐導波路の一括形成を各種ガラスにて試みた。その結果、Au 含有ガラスにおいて比較的低閾値にて分岐が可能な素子が得られることを確認した。また、複数の光導波路の一括描画を試み、最終達成目標である内部伝送損失が 0.1 dB/cm 以下の光導波路が描画可能であることを確認した。

研究開発項目②三次元加工システム技術

(1)三次元加工システム技術目標(社団法人ニューガラスフォーラム)

異質相の更なる多層化や高集積化について改善した手法を基に設計したホログラムを用いて、一辺が 60 μ m の立方体のガラス内に 100 個の異質相を三次元に形成できるレーザー一括加工を目指し、従来比 100 倍以上の高速加工を実証した。さらに三次元ホログラムの応用例として、長焦点深度ホログラムを設計し、これを用いて厚さ 500 μ m のシリカガラス基板に微細貫通穴あけ加工(射出面穴径 1 μ m)を実現した。

フェムト秒レーザーを使用した三次元光デバイス加工システムの改良を行った。このシステムと、次項(2)で述べるホログラムの設計と作製技術を用いて作製されたガラス・ホログラムを用いることで光軸方向への伸びを制御した加工を実現し、ガラス内部の一辺 60 μ m の立方体内に三次元に分布する 100 点の異質相を一括で加工することに成功した。これらの実験により、作製したデバイスの基本情報からホログラムとデバイス設計に必要な加工基礎データを取得した。

ガラス・ホログラムを使用して、ガラス内部に長さ 1cmの直線導波路を作製し、1550nm での導波を確認した。また、直線導波路を組み合わせ、2x2結合器、マツハツエンダー型干渉計等のデバイスを試作し、基本性能の確認を行った。

ガラス内部に形成した異質相の屈折率を非破壊で測定するため、三角光路をもつ透過型干渉計を開発した。これで得られた干渉縞に位相増幅法とでコンボリューションアルゴリズムによる超解像処理とを適用しナノオーダーが測定できるサブフリンジ計測が可能となった。これを用いて数十ナノの光路長差測定により屈折率差を求めた。

(2)波面制御三次元加工システム技術(社団法人ニューガラスフォーラム)

ホログラム設計では、異質相の更なる多層化や高集積化における改善を行い、一辺が 60 μ m の立方体のガラス内に100個の異質相を三次元に形成できるホログラムを作製した。またホログラム設計環境に、最新のGPUコンピューティングシステムを導入し、よりスケラブルなシステムへと拡張した。

ガラス・ホログラム作製プロセスの精度改善を引き続き行い、段幅 2.5 μ m以上の階段状テストパターンでは、段幅と段の深さが最終目標である製作精度 ± 40 nm 以下であることを確認した。一括加工用ガラス・ホログラムにおいても、ピクセルサイズと段の深さは製作精度 ± 40 nm 以下で作製可能であることを確認した。また、複数枚のガラス・ホログラムを同時に作製するプロセスを構築した。

(3)空間光変調器三次元加工システム技術(浜松ホトニクス株式会社)

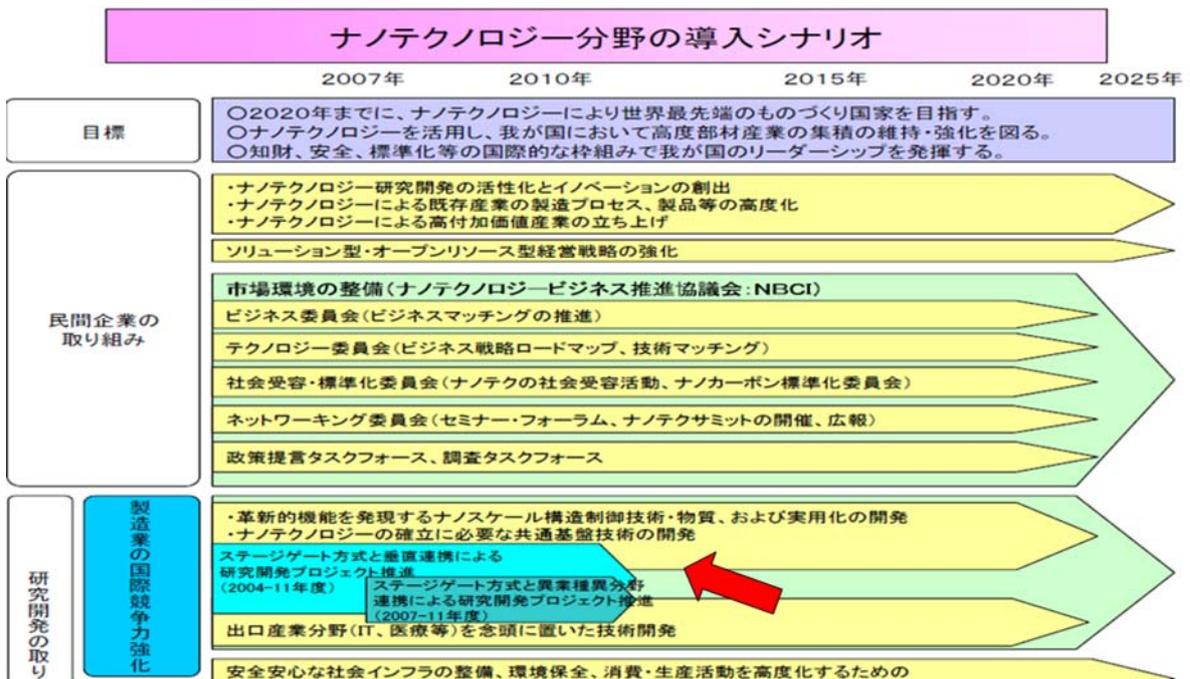
本研究開発項目における最終目標を全て達成した。すなわち、空間分解能45万画素以上の高精細化、変調速度50 Hz、光位相変調度 2π ラジアン以上(256レベルの中間値制御も可

	<p>能)、50 GW/cm²(100 fs、1 KHz)のフェムト秒レーザーパルスへの耐光性を有するフェムト秒レーザー光波面制御モジュールを実現した。また、フェムト秒レーザーによる高機能三次元加工のためのLCOS-SLMによる波面制御技術の開発を行い、当該加工に必要な波形成形、収差補正を実現した。</p> <p>研究開発項目③三次元加工システム応用デバイス技術 (1)三次元光学デバイス技術(社団法人ニューガラスフォーラム) 改善されたホログラムと材料を用いて、光学ローパスフィルタの一括描画に取り組み、最終目標の方向無依存のモアレ低減機能を一括描画により実現するための要素技術確立の確認を行った。作製したフィルタのサイズは最終目標値の 2.5mm 以上、フィルタ厚は 0.3mm 以下であった。</p> <p>さらに、実用化に向けての実製品への搭載実験を行い、異質相色味の映りこみという実用化のための新たな課題も抽出してホログラム開発とガラス材料開発に対してフィードバックをした。また、これまでの当 PJ での回折格子とは異なる異質相配置の方式の光学ローパスフィルタについても試作検討を行った。</p> <p>(2)三次元光回路導波路デバイス技術(国立大学法人京都大学、社団法人ニューガラスフォーラム) ホログラフィック三次元加工システム(フェムト秒レーザー+LCOS-SLM)を構築し、複数の光導波路の一括描画、2~6 分岐三次元光導波路の描画、グレーティング型分岐回路の描画を試みた。その結果、内部伝送損失が 0.1 dB/cm 以下の光導波路が描画可能であることを確認した。また、分岐ロスとなる 0 次光を入射光の 3%以下に抑えることに成功し、導波路型分岐回路にて設定した最終達成目標と同等以上の特性を有する 1×16 グレーティング型分岐回路の描画が可能であることを確認した。</p> <table border="1" data-bbox="486 1120 1543 1328"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」50 件、「その他」41 件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」27 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 7 件）</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表（プレス発表等）</td> <td>講演・口頭発表 120 件、展示会・プレス発表 17 件・米国レーザー学会ホームページで 2 カテゴリーにて取り上げ。</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」50 件、「その他」41 件	特許	「出願済」27 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 7 件）	その他の外部発表（プレス発表等）	講演・口頭発表 120 件、展示会・プレス発表 17 件・米国レーザー学会ホームページで 2 カテゴリーにて取り上げ。
投稿論文	「査読付き」50 件、「その他」41 件						
特許	「出願済」27 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 7 件）						
その他の外部発表（プレス発表等）	講演・口頭発表 120 件、展示会・プレス発表 17 件・米国レーザー学会ホームページで 2 カテゴリーにて取り上げ。						
IV. 実用化の見通しについて	<p>(1) 三次元光学デバイス(光学ローパスフィルタ) モアレの低減が確認できた。更に改善した一括加工を進めると同時に、モアレ以外の光学特性をも含めて実用化の観点から問題点の抽出を継続研究で行い、問題が無ければ実用化の検討を行なっていく。</p> <p>(2) 光インターコネクション 研究項目「②三次元加工システム技術の②-1&2」で開発された直線異質相及び曲線異質相を光インターコネクション用として発展させ、オール光通信処理技術のデバイスとしての実用化への検討を進めていきたい。具体的な技術の問い合わせが来ている。</p> <p>(3) 光結合器 研究項目「②三次元加工システム技術の②-1&2」で開発された直線異質相及び曲線異質相を光結合器などとして発展させて、オール光通信処理技術のデバイスとしての実用化への検討を進めていきたい。具体的な技術の問い合わせが来ている。</p> <p>(4) LCOS-SLM 開発してきた LCOS-SLM で適応できる分野での実用化を検討する。</p> <p>(5) プロジェクトで開発してきた下記についても早期に市場に出るよう努力したい。 ・ホログラムシミュレータ・ホログラム加工プロセス ・三次元屈折率差測定機能付き形状測定器</p>						

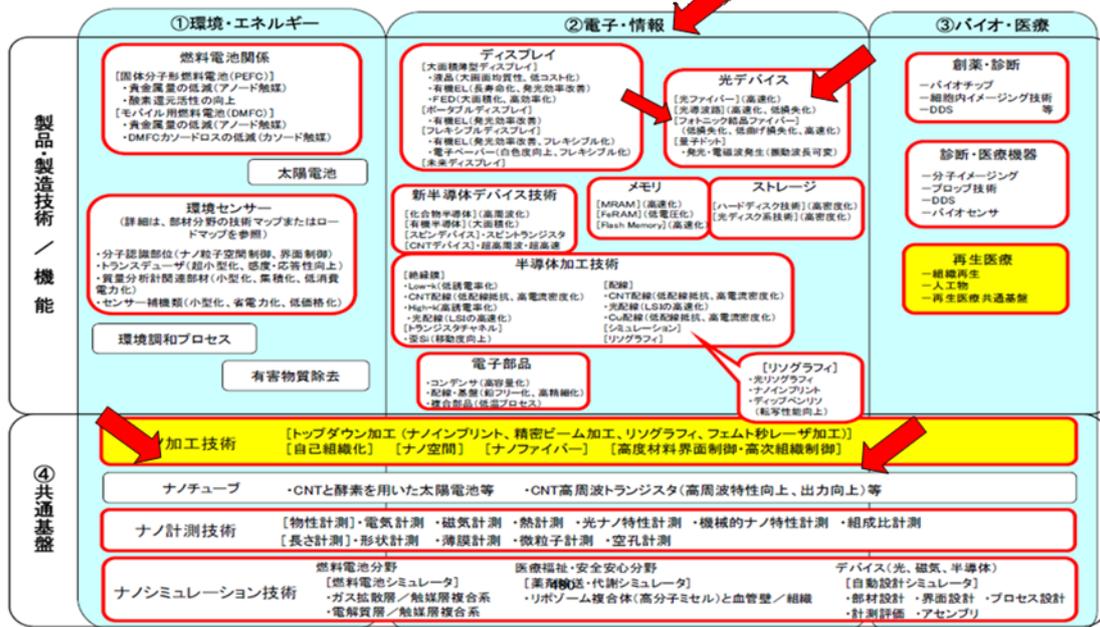
	<p>(6) ホログラムを使用した特殊材料の高速、微細加工の問い合わせがきており、新規分野が開拓できる可能性が高い。</p> <p>(7) ホログラムとフェムト秒レーザーを使用した加工に興味を持ち、その市場開拓に協力を申し出られている企業が複数でてきている。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 18 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 20 年 07 月 イノベーションプログラム基本計画の制定により (1) 研究開発の目的の記載の改訂

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6より抜粋)



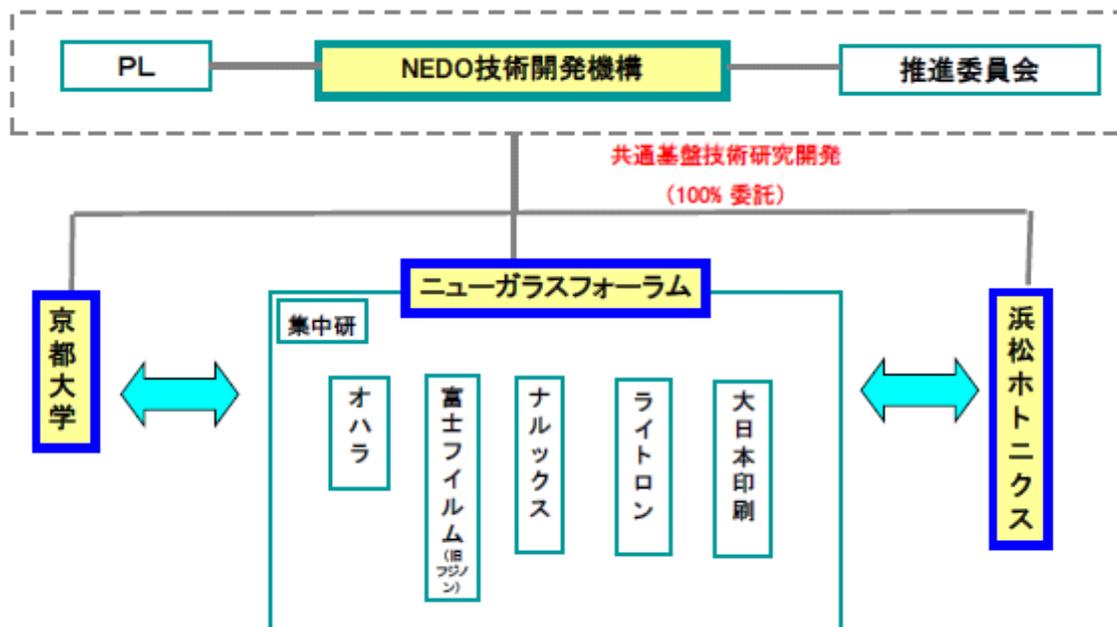
ナノテクノロジー技術戦略マップにおける本プロジェクトの位置付け



「新機能創出ガラスの加工技術開発プロジェクト／

三次元光デバイス高効率製造技術」

全体の研究開発実施体制



「新機能創出ガラスの加工技術開発プロジェクト」

三次元光デバイス高効率製造技術（事後評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

フェムト秒レーザーによって、ガラスのマクロ構造にダメージを与えずガラス中の結合状態を変化させるというコンセプトは、材料創製プロセスとして先進的かつ独創的であり、チャレンジングな研究課題であるに拘わらず、基礎的な研究から、応用面の研究に至るまで、バランス良く研究が推進され、ホログラムを用いた画期的な三次元一括加工システム技術の開発により、バルク透明材料を用いた三次元光デバイスの製造の為の基盤技術を確立した。

また、開発項目の全てにおいて計算シミュレーションと実験を展開し、三次元光加工装置・技術開発で大きな成果を得るとともに、フェムト秒レーザーガラス高速加工に関する多くの知見を得たことは高く評価できる。さらに、活発な論文発表・学会発表、適切な特許出願を行い、若手技術人材育成に貢献したことも高く評価できる。

一方、光デバイスの加工に関しては、すでに金型加工や光リソグラフィー技術などにより極めて信頼性の高いデバイスが作製され、市場に供給されている。本プロジェクトで開発されたフェムト秒レーザー加工法がこれらにとって変わるほどの優位性があるか、明快に示されていない。既存の平面光波回路光デバイス技術では実現できないとか、価格あるいは性能の点で圧倒的に優位であるなどの特長を有していることが必要であり、その精査をきちんと行うべきである。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトで発展された3次元加工技術を実用的光デバイス作製技術として定着発展させるためには、この技術内での改善追求だけでなく、従来技術や開発中の競合他方式の光学デバイスの現状の調査研究を適切に行い、デバイス種や応用等を競争力のあるものに絞り込むことが必要である。

また、今回の成果を発展させ、実用化を拡大することは、プロジェクトの成功以上に重要なことである。実用化されている他の技術との比較検討を行って、光学ローパスフィルタのように、このプロジェクトで得られた技術でなければ実現できないような用途の探索を続けてほしい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ナノテク・部材イノベーションプログラムの下で、本プロジェクトは事業の必然性、公共性等を備えている。また、本プロジェクトの成果は光産業の基盤技術となる可能性を持っており、多方面への展開が可能な、先進的かつ汎用性の高い技術開発である。ガラス、フェムト秒レーザー加工、光デバイスの組合せのもとに相補的経験を有する研究者からなる体制を構成して総合的な実用化開発研究を推進することは NEDO プロジェクトとして意義があり、事業目的は極めて妥当である。

一方、長期間の開発の間には社会環境や技術環境の変化があり、当初計画で想定していた目標や応用用途が大きく変化したことに対して、中間段階で目標設定の見直しや絞り込みを行い、フェムト秒レーザーでしか対応できない産業応用の目標の順位付けが行われても良かった。

2) 研究開発マネジメントについて

目標に関しては達成すべき目標が具体的な数値に設定しており、全体戦略は明確で概ね妥当と言える。また、各要素技術とプロジェクトの中での位置づけも、プロジェクトの目標に沿ったものであり、それに向かっての実施体制も適切であった。プロジェクトリーダーのイニシアチブもよく発揮されており、実用化を目指して積極的に特許出願やユーザとの連携を目指した努力がなされていることも評価できる。

しかし、目的とする事業規模を大きく捕らえすぎている部分がある。その技術がなければ実現できない部材についての事業規模であればよいが本技術の想定する事業規模はいずれも現状の代替市場であり、進歩を続ける内外の技術・市場動向等を踏まえて、開発目標を戦略的に更新し定量化・精密化してゆく努力が十分だったとは言えない。当該技術が他技術を圧倒する利点を再度整理し直して、それを前面に出した応用を見出す努力をすべきである。

3) 研究開発成果について

成果は、世界的な技術水準からみても、十分に満足のいくものであり、総合的に見て、目標を十分にクリアしている。ガラス材料技術では、屈折率変化値目標をほぼ満たす光学ガラスが見出され、目標をほぼ達成している。三次元加工システム技術では、ガラス・ホログラムの高度化および LCOS-SLM（空間光位相変調器）の高性能化とそれらを用いた汎用性の高い 3 次元露光装置・技術、およびホログラム設計技術取得を中心として目標を十分に達成しており、並列一括書き込みによる効率化を図り、実証したことは大きな意義がある。デバイス技術では、モアレ抑制フィルター（ローパスフィルター）で実現可能性をほぼ実証し、導波路デバイス技術では各種デバイスの試作試験がなされた。

さらに、知的財産の確保も適切に行われ、論文等、300 件を超える外部発表を積極的に行っている。このプロジェクトと併設してレーザー加工の教室（NEDO 特別講座）を開き、多くの技術者を教育したことは評価できる。

一方、本プロジェクトの主目的である実用的光デバイス製造技術開発の観点からは、本方法で光デバイス試作が可能であることを定性的に例示した段階に留まっており、試作された光デバイスの唯一性・優位性や競争力は示されていない。ガラス材料、加工システム技術、応用技術のそれぞれに掲げた目標が、全体として有機的に結合・機能しているのかという視点での検証が必要である。

4) 実用化の見通しについて

本プロジェクトで高性能化されたガラス・ホログラムおよび LCOS-SLM（空間光位相変調器）とそれらを用いた 3 次元光加工装置・技術は高い自在性と実用性を有し、フェムト秒レーザー光加工や光デバイス作製だけでなく、汎用の 3 次元露光装置・技術として広く多くの応用可能性と発展性がある。今後の更なる高性能化と低下価格化により技術的波及効果が大いに期待される。

しかし、光通信用の多分岐デバイス、光学的オプティカルローパスフィルターなど応用デバイスについては、既存のデバイスとの定量的性能比較ができる段階に至っていない。また、応用用途が考えられる多くのデバイス例で、産業技術としての見極めと実用化にあまり近づけることができていない。ガラスの三次元デバイスが特段に活かせる応用分野を調査して、適用され易いターゲットで実用化の実績を積み重ねることが肝要である。

個別テーマに関する評価

	研究開発成果について	実用化の見通しについて及び今後に対する提言
デバイス化加工用ガラス材料技術	<p>成果は目標を達成しており評価できる。系統的試験により屈折率変化量の目標値 0.015 を超す TiO₂ 含有リン酸塩系ガラスが見出された。Al 添加多成分ガラスにおいて見出したフェムト秒光照射 Si ナノ微粒子析出現象、複合整形フェムト秒ビーム照射によるイオン移動分布の形状制御は、材料科学的な視点から非常に高く評価できる。</p> <p>しかし、ガラスに限っても、シリカガラスや、他に様々な多成分系ガラスがあり、それぞれの代表的なガラス系において、どの程度の加工が可能であるか（屈折率変化と透過損失）などの技術的データの蓄積が必要である。</p>	<p>材料技術の観点からは、三次元光デバイスの実用化についての可能性が確かめられており、今後様々な分野への展開が期待される。さらに、異質相形成メカニズムの解明は今後のガラス材料の開発に大きく貢献できると期待できる。</p> <p>また、TiO₂ 含有リン酸塩系ガラスはフェムト秒パルス光加工光デバイスのための代表的なガラス材料になる可能性があるため、安定性やコストを含めて競争力を高めることが望まれる。</p> <p>一方、内部損失が 0.1 d B/c m以下と目標のクリアはしているが、ぎりぎりの段階であり、再現性も含めると実用化にはまだ、十分な開発が必要である。TiO₂ 含有リン酸塩系ガラスのフェムト秒パルス光加工感度とパルス幅依存性や屈折率変化量波長依存性など光デバイス材料としての特性を信頼性が高くユーザが使いやすい形に整備することが望まれる。</p>
三次元加工システム技術	<p>本プロジェクトの中核をなす部分であり、ホログラムによる 3D 高速加工技術の開発は本研究開発の独創的な手法である。従来より 100 倍の加</p>	<p>開発されたガラス・ホログラムを使用した波面制御 3 次元加工システム技術では、大幅な加工速度の改善がなされ、実用化におけるコストダウ</p>

工速度を達成し、十分に目標値をクリアしている。数億個という大幅な画素数拡大とゼロ次光の影響がなく従来比で数千倍の高速加工を実現した高性能なガラス・ホログラムを使用した波面制御3次元加工システム技術では、数種類の光デバイス例を試作して基本的動作を確認し、本技術の有効性を確認した。また空間光変調器三次元加工システム技術では、大幅な画素数拡大と変調速度の高速化およびパルスレーザー光耐性の大幅改善により当初目標を十分に達成した。またこれを用いてフェムト秒レーザー波面制御モジュールおよび波面制御実験装置を完成し、その有効性を実証するとともに本プロジェクト全体の進展に貢献した。

但し、試作されたいくつかの導波路デバイスは、光デバイスとしての新規性は乏しく、いずれも既存デバイスの性能と比較できる定量的な性能データを得る段階には達していない。また、量産性やコストに関する知見も示されていない。

今後、本技術を使わないと出来ないような三次元光デバイスの探索や、シーズ発信にも力を入れるべきである。

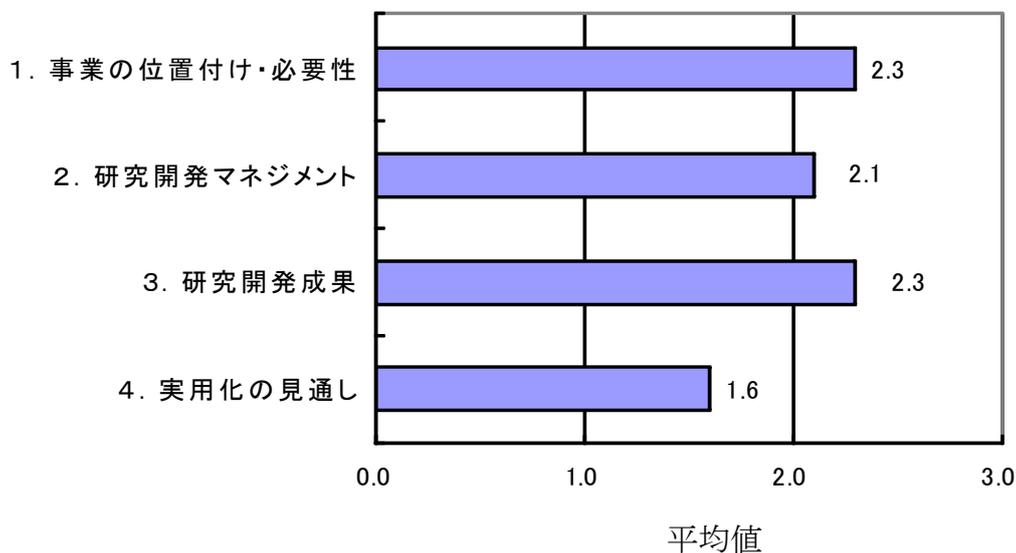
ンが見込まれる。開発された技術は、対象材料としてガラス、プラスチック、金属、半導体などへの適用が期待でき、幅広い製品分野で活用されるものと期待する。また、LCOS-SLM（空間光位相変調器）とこれを用いた波面制御装置は、フェムト秒パルス加工光デバイス製造以外に、広く3次元露光・加工装置として多くの応用があり、画素数や速度および光耐性の更なる改善や光波長域の拡大および低価格化などの努力により、将来の産業技術としての可能性は高く、市場への技術的、経済的な波及効果は大きいものと評価できる。

一方、基本デバイス作製技術が完成した段階で、それらの組み合わせや、適切な材料の選択などにより、より高機能なデバイス（例えば、光増幅、光スイッチなど）の試作、あるいは、デバイスサイドとの議論などをもとに、真に、本プロジェクトの材料と技術の特徴を活かすことができ、他の材料や手法では不可能なデバイスの試作まで行うことができれば、より成果をアピールできる。

また、本加工法の至適な適用分野について、当該研究開発の成果を周知される過程で各種業界

		からの提案、見解等を広く求めることが望まれる。
三次元加工システム 応用デバイス技術	<p>フェムト秒パルス光加工ガラス光デバイスの実用化の候補として2次元格子状構造をもつ撮像デバイス用ローパスフィルタを提案し、理論計算と実験でモアレ低減機能を確認したことは評価できる。今回の成果によって、光学ローパスフィルタの軽量・小型化が実現でき、カラーカメラの性能向上に大きな貢献が期待できる。市場性も高く、有用な技術であるので、実用化を促進することを期待する。</p> <p>但し、ローパスフィルタはモアレ除去性能だけでなくカラー撮像デバイスとの整合性、色彩忠実度への影響、分解能やコントラストの劣化の程度などを数値的に明らかにして実用性を確かめる必要がある。</p>	<p>光学ローパスフィルタについては、実用への可能性が高く、特性の評価や耐久性、コストなど産業応用に必要な検討を迅速に進めることで、競争力のある、市場性の高い技術として期待できる。</p> <p>但し、本方式ローパスフィルタの実用性見極めおよび表面レリーフ型等のより低コストな作製法との客観的な性能・価格比較を行うことが望まれる。また、3次元光導波路デバイス技術は優位性不明であり実用化に向けての課題抽出と解決法が示されているとは言えない。</p> <p>多くの会社から引き合いがあることから、各種業界からの提案、見解等を広く求め、新規なデバイス開発や新しいレーザー加工方法の可能性に繋がることを期待する。</p>

評点結果 [プロジェクト全体]



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	2.3	A	A	B	B	C	B	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.1	B	A	B	B	C	B	A	
3. 研究開発成果について	2.3	A	A	B	B	C	B	A	
4. 実用化の見通しについて	1.6	B	A	C	C	C	C	B	

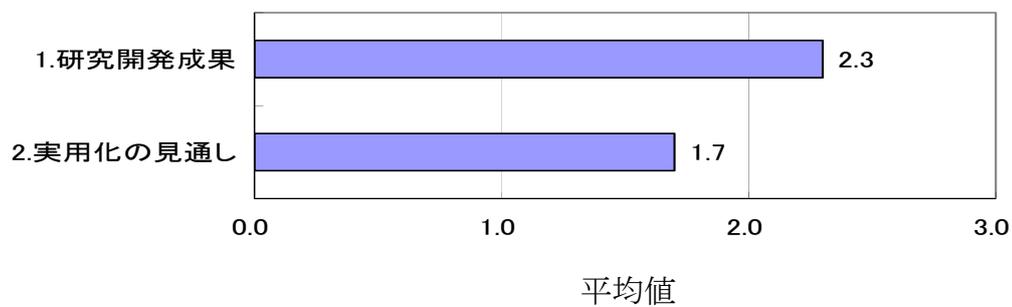
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

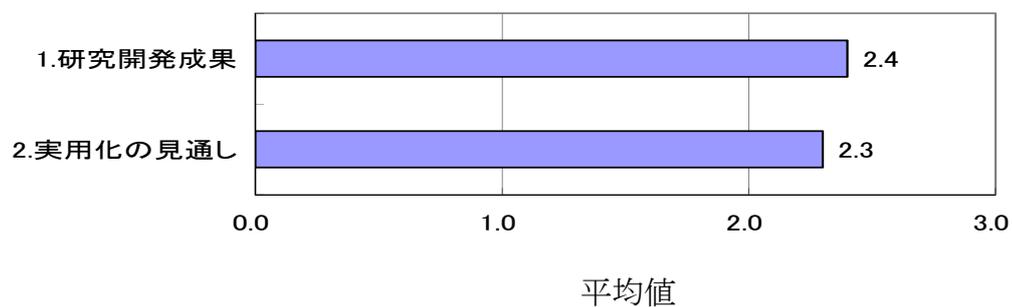
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

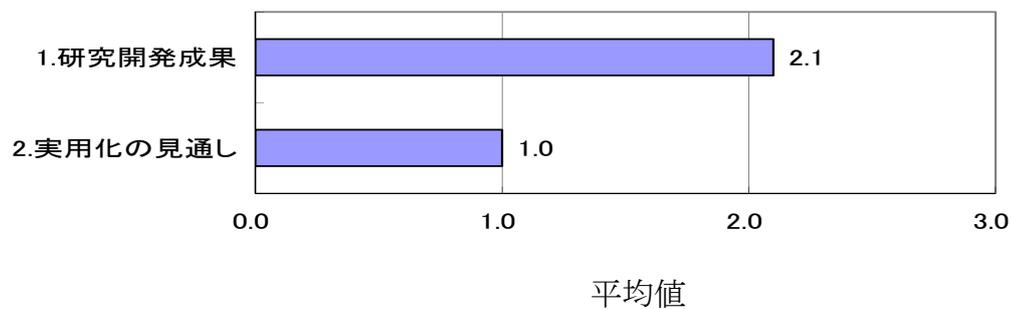
デバイス化加工用ガラス材料技術



三次元加工システム技術



三次元加工システム応用デバイス技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
デバイス化加工用ガラス材料技術									
1. 研究開発成果について	2.3	B	A	B	B	C	A	A	
2. 実用化の見通しについて	1.7	B	A	D	B	B	C	B	
三次元加工システム技術									
1. 研究開発成果について	2.4	B	A	B	A	B	B	A	
2. 実用化の見通しについて	2.3	A	A	B	A	C	B	B	
三次元加工システム応用デバイス技術									
1. 研究開発成果について	2.1	A	A	C	B	C	B	A	
2. 実用化の見通しについて	1.0	B	B	D	C	D	C	C	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明