

4.1 事業の位置付け・必要性 及び研究開発マネジメント

「三次元光デバイス高効率製造技術」
(事後評価)第1回分科会
資料6-1

公開

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

「新機能創出ガラスの加工技術開発」

「三次元光デバイス高効率製造技術」(事後評価)

(2006年度～2010年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

電子・材料・ナノテクノロジー部

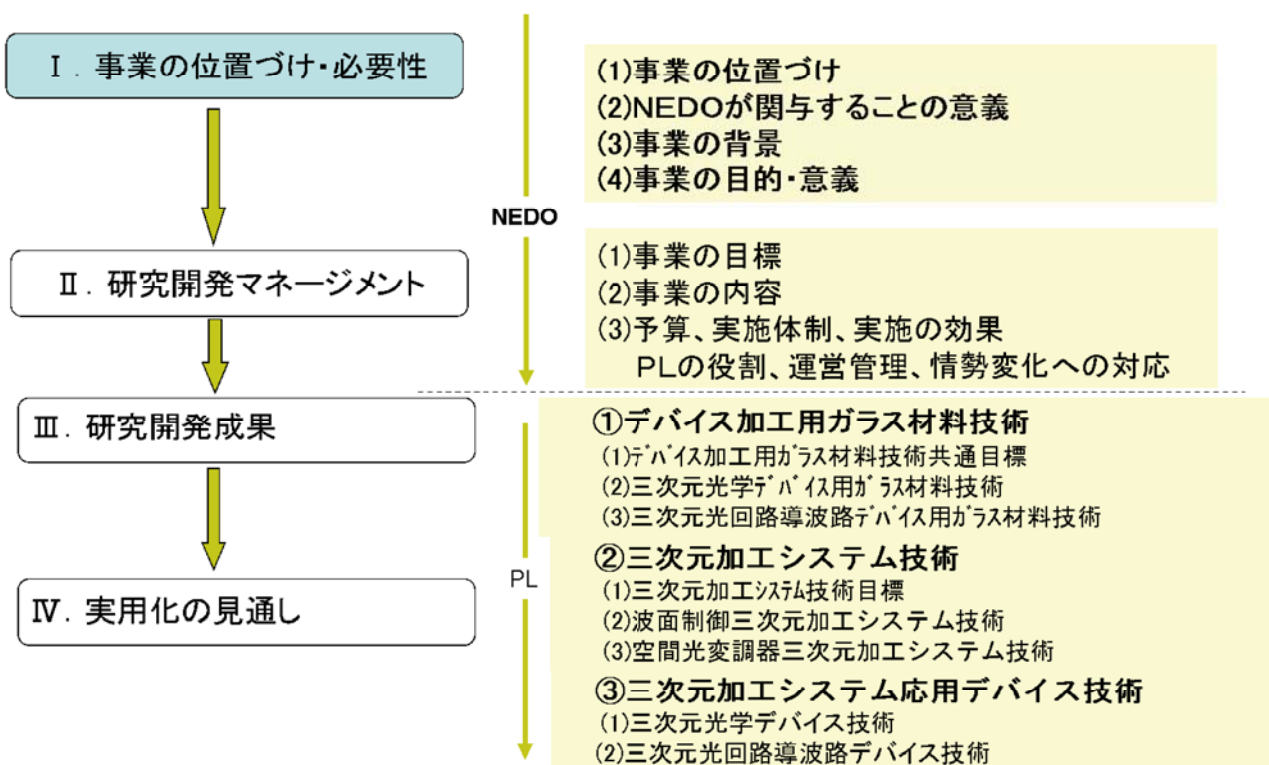
2011年6月23日

事業原簿 20-66、394-395、406-409頁

1/25

発表内容

公開



事業原簿 20-33頁

2/25

三次元光デバイス高効率製造技術・開発の背景

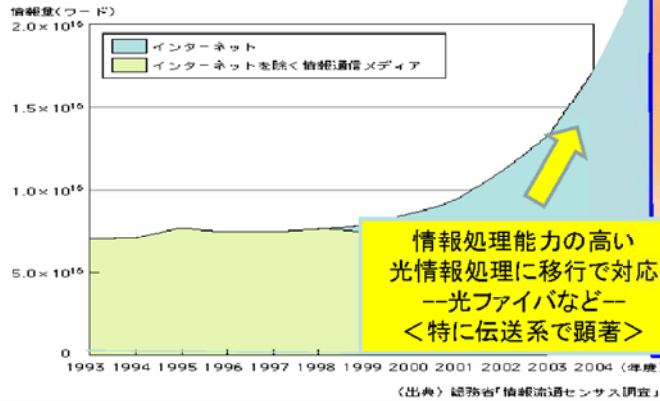
爆発的に増大する情報処理量に対応するオール光情報処理への位置づけ

消費電力 大

消費電力 小

電気配線の限界 ⇒ 光インターコネクション ⇒ オール光通信処理

インターネットの普及で情報量/消費電力が急激に増加



プロジェクト
2006.7~2011.2

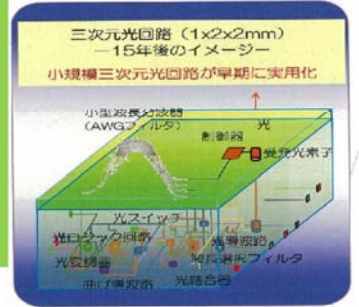
基本技術を用いた新機能ガラスに試用

光インターコネクションへの展開

集積化光回路デバイスへの応用



集積化光回路デバイス



2015年

2020年

スイッチ、経路等を含めてネットワークのオール光化が必要

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」を登録

参考

3/25

電気配線の限界と光インターコネクションの導入

2020年

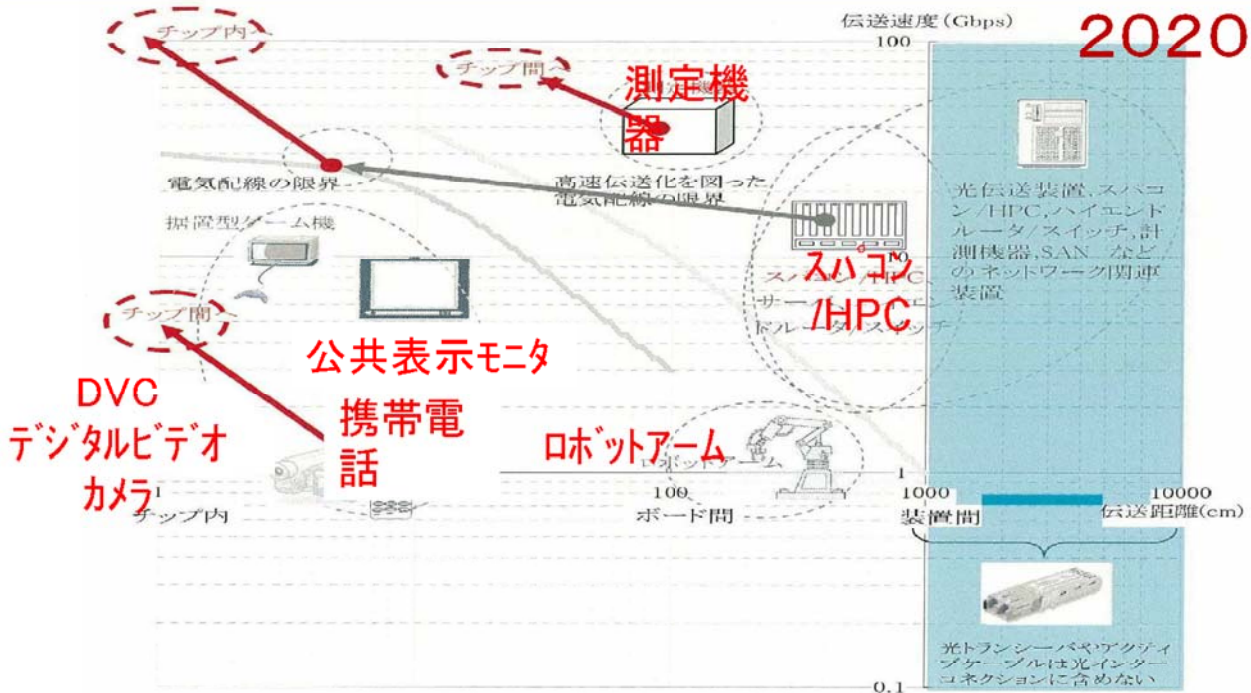


図 2020年頃での光インターコネクション技術の産業界での要求 (出典) 富士キメラ総研 (赤字機器と赤点枠内が導入対象)

参考

4/25

事業の位置付け

<国の政策における位置付け>

ナノテクノロジープログラム

総合科学技術会議

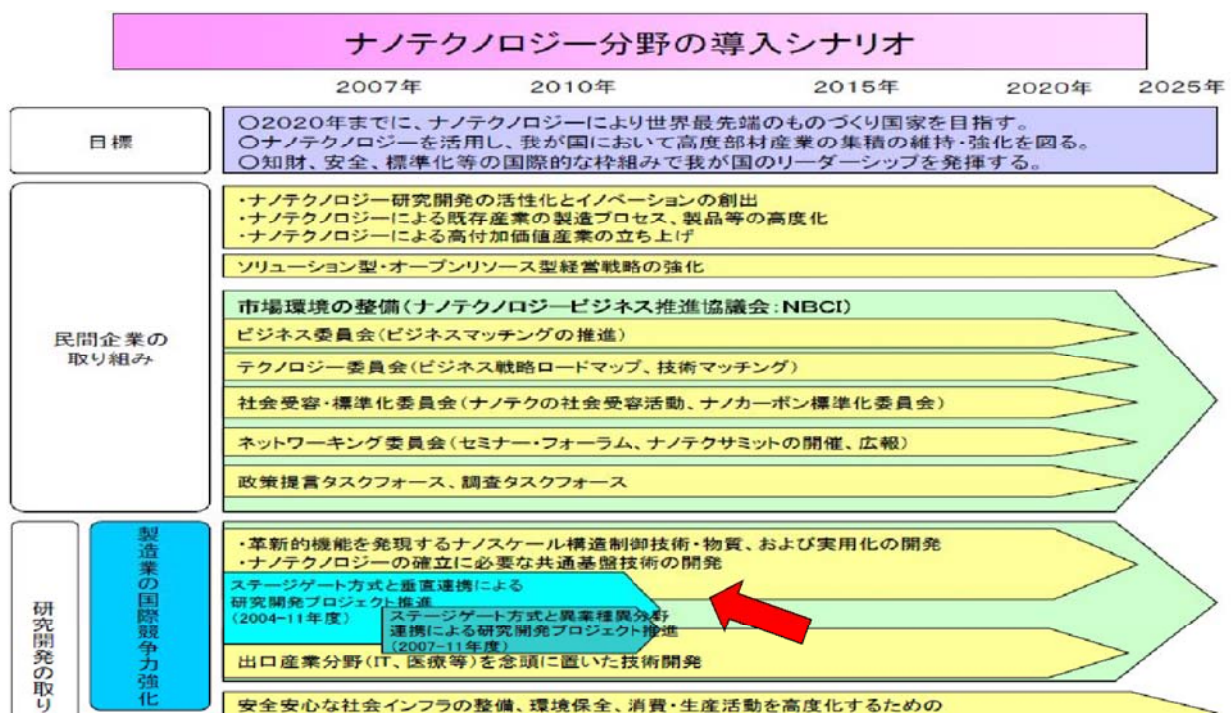
「革新的技術戦略」(オール光通信処理技術)の登録テーマ

ナノテクノロジー技術戦略マップ

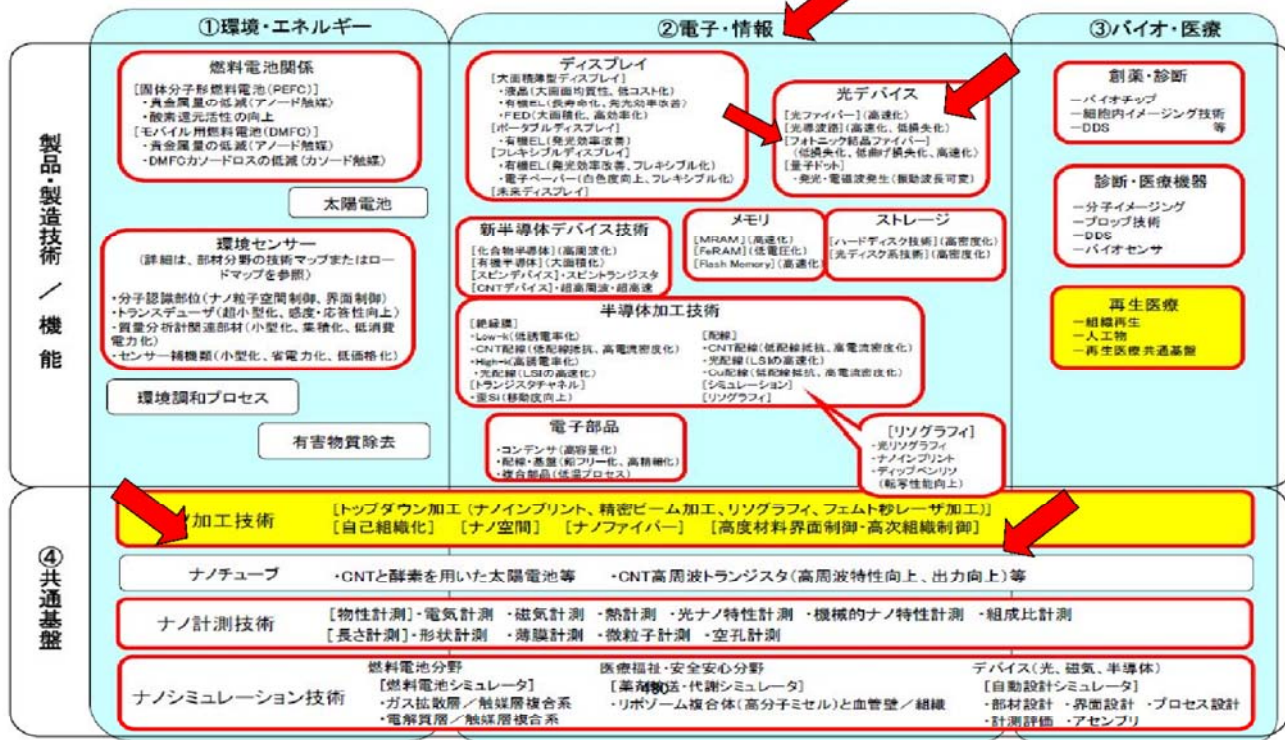
➢ 光デバイス分野

- 光情報通信／光伝送／光導波路／合分波
- フェムト秒レーザーによる直接導波路描画技術

ナノテクノロジープログラムにおける本プロジェクトの位置付け



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



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

技術領域	要素技術	機能	ナノテック技術課題	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
光導波路	家庭内、車内ネットワーク、光インターコネクション	低損失 (耐熱性)	目標仕様(三次元光デバイス)			三次元加工システム 直線導波路:直径 9μm		60μm ² /シングルショット ±0.1μm加工精度40nm			三次元分注機 挿入損失<17dB				
			三次元一括描画(パターンニング)に適したガラス材料開発			三次元分注機 挿入損失<17dB									
			フェムト秒レーザーの一掃照射を利用した三次元光導波路デバイス作製			0.15dB/cm(1.55μm, SM)		0.1dB/cm(1.55μm, SM)							
			目標仕様			0.1dB/cm(1.55μm) 0.05dB/cm(0.85μm)		0.05dB/cm(0.85μm)		0.05dB/cm(1.55μm) 0.02dB/cm(0.85μm)					
光変調	幹線系ネットワーク	高速化、広帯域化	精密材料設計・精密重合(耐熱、透明材料、その他の耐環境性スペックを持つ材料の開発)												
			簡易作製法・実装法による光導波路作製技術												
			目標仕様			光MUX/DEMUX (43Gb/s 1×2), (400Gb/s 8Ch)		光MUX/DEMUX (160Gb/s), 光3R							全光(1Tb/s)
			精密材料設計(高品質半導体量子井戸の育成、量子シユタルク効果、半導体スピニエレクトロニクス)			DPSK 40Gb/s		DPSK 100Gb/s		160Gb/s					
家庭内ネットワーク	高速化、高効率化	高効率化	ナノ加工(数十nm)												
			広帯域ナノ材料埋め込み導波路												
			目標仕様			動作電圧1V 変調周波数 100GHz		動作電圧0.5V 変調周波数 130GHz							動作電圧0.5V 変調周波数500G
			精密材料設計(β ² γ ² 主観骨格の剛直化による分子配向性の向上)												

NEDOが関与することの意義

日本が世界をリードしている通信・情報家電の競争力向上に貢献

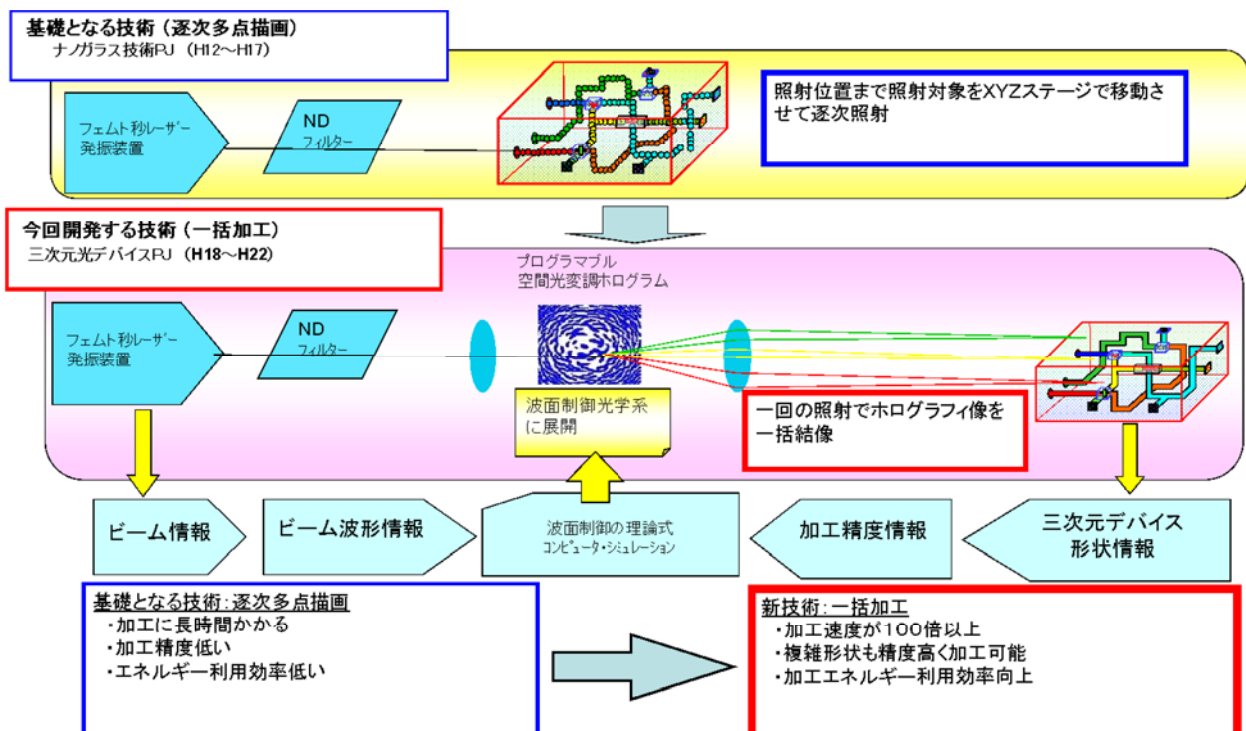
- ▶集積化光回路デバイスへのインパクト
 - ▶光インターコネクション
 - ▶3次元多重集積化(体積100分の1)

光情報処理の基本デバイス(光スイッチ・光増幅器・合分波)の開発を促進

**NEDOによる産・学・官連携体制による
国家的・集中的実施が必要不可欠**

フェムト秒レーザーによる加工技術: 国立大学等の一部の研究機関がシーズ・設備を保有
ホログラムによる空間光変調技術: 民間企業に高いシーズ技術
(▼分散研では研究開発の遅延が避けられない)

事業の背景(技術的背景)



事業の目的および意義

日本が世界をリードしている通信・情報家電分野の部材の高機能化・低コスト化

- 光情報処理の基本デバイス(光スイッチ等)
- 新しい機能を持つ光学デバイス(デジカメのレンズ)
- 集積化光回路デバイスへのインパクト



ガラス中に三次元の光回路を高精度に一括形成できるプロセス技術の開発

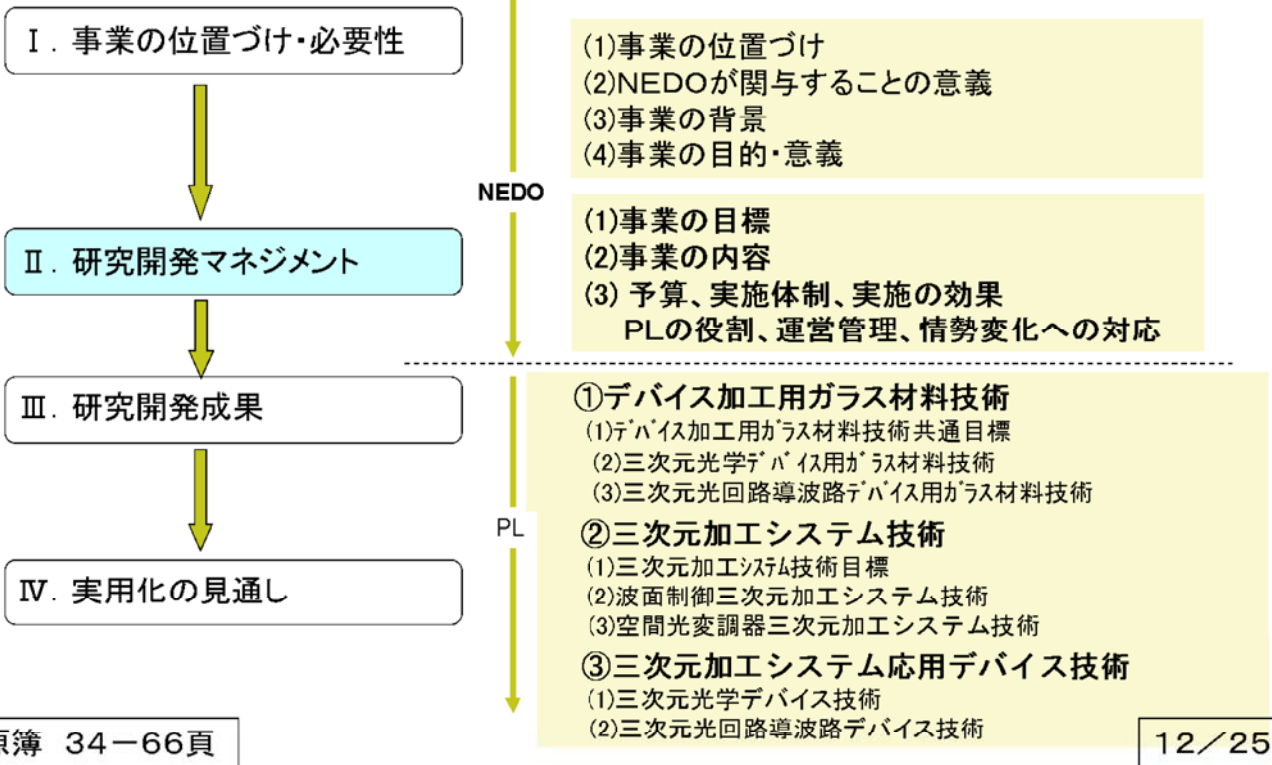


従来工法の問題点

フェムト秒レーザーを使用した従来の加工法はガラス材料をXYZステージで移動させながら1点ずつレーザ加工をする逐次多点描画法であり、加工時間が長い・精度が低い・エネルギー利用効率が低い。

三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト

概要説明 報告の流れ



事業の目標

▶フェムト秒レーザーとホログラム等でガラス内部を加工し、光制御機能を付加する加工技術が開発され、これにより光情報処理の基本デバイス(光スイッチ、光増幅器、合分波)の開発を容易に行うことができることを目標とする。

1. 全体目標 (平成22年度)
 - a)三次元加工システムの一括加工に適した**ガラス材料の開発**
 - b)**波面制御三次元加工システム技術と空間光変調器三次元加工システム技術に関する基盤技術**を開発。
 - c)光学デバイス、光回路導波路デバイスの**一括加工による試作**。
2. 最終目標
 - 2.1 研究開発項目①「デバイス化加工用**ガラス材料技術**の研究」
 - a)データの体系化 (異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス依存性)
 - b)光学デバイス用ガラス材料 (屈折率差 Δn が0.015以上)
 - c)光回路導波路デバイス用ガラス材料 (光伝搬損失0.1dB/cm以下、直線導波路 9 μ m)
 - 2.2 研究開発項目②「三次元**加工システム技術**の研究」
 - a)波面制御三次元加工 (60 μ mの立方体中に100個以上の異質相作製)
 - b)設計シミュレーションの高速化 (従来比10倍以上)
 - c)空間光変調器三次元加工システム (変調速度50HZ、耐光性50GW/cm²)
 - 2.3 研究開発項目③「三次元加工システム**応用デバイス技術**の研究」
 - a)光学ローパスフィルタ b)直線導波路(コア径9 μ m以下)とスプリッタ(1×16)の試作

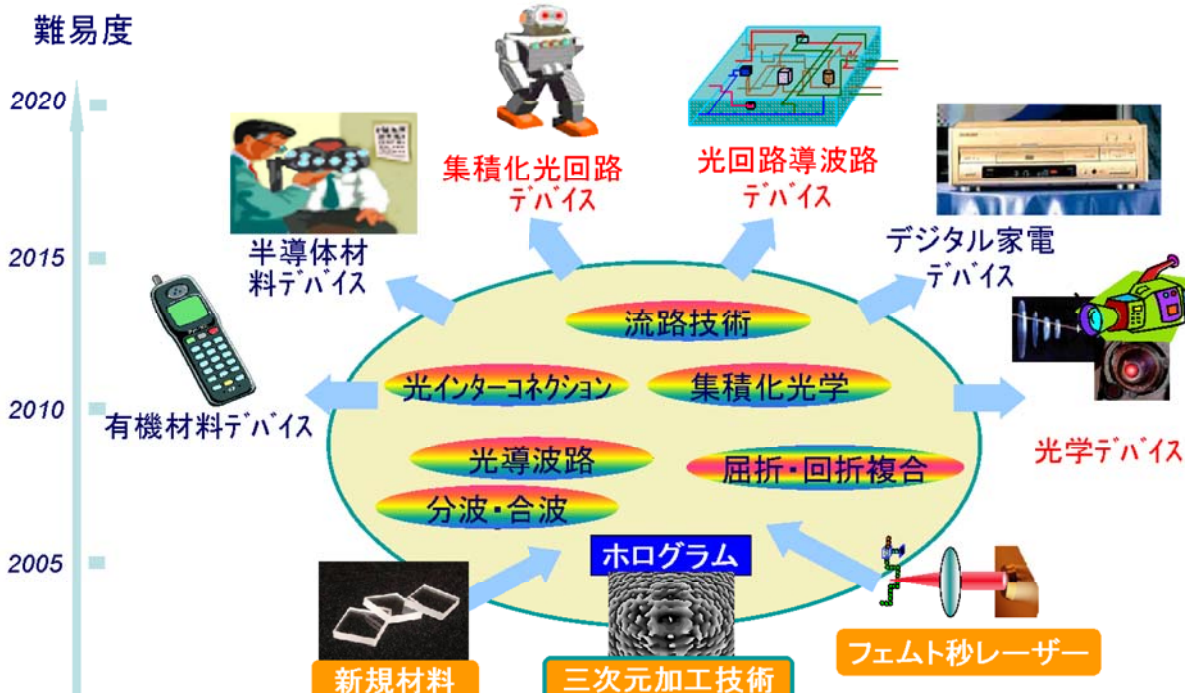
研究開発項目別目標値

研究開発項目	中間目標	最終目標
①デバイス化加工用ガラス材料技術	(1)デバイス加工用ガラス材料技術共通目標 自主目標 : データの体系化(異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス材料依存性)	
	(2)三次元光学デバイス用ガラス材料技術  異質相と母材の屈折率差 $\Delta n \geq 0.01$ 可視光領域 (400-760nm)	 異質相と母材の屈折率差 $\Delta n \geq 0.015$ 可視光領域 (400-760nm)
	(3)三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術  直線導波路(レーザー照射条件最適化): 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長1.55 μ m @Single Mode	 直線導波路(三次元加工システムで作製) 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長1.55 μ m @Single Mode
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 60 μ m × 60 μ m × 60 μ m  9 μ m $\leq \pm 0.9\mu$ m 2層以上の球状異質相 or 棒状異質相 三次元基本加工機能を確認	60 μ m × 60 μ m × 60 μ m  100個以上の球状異質相 or 棒状異質相 加工精度 $\leq 10\mu$ m 100倍以上の高速加工を実現
	(2)波面制御三次元加工システム技術  ホログラム設計速度 $\geq \times 3$ (従来比)	 ホログラム加工精度 $\leq \pm 40\text{nm}$ 設計速度 $\geq \times 10$ (従来比)
	(3)空間光変調器三次元加工システム技術 空間光変調器: 変調速度 30Hz 光位相変調度 $\geq \text{mrad}$ 耐光性 $\geq 30\text{GW/cm}^2$ (100fs, 1kHz)	空間光変調器: 変調速度 50Hz 光位相変調度 $\geq 2\text{mrad}$ (0~2 π で制御可) 耐光性 $\geq 50\text{GW/cm}^2$ (100fs, 1kHz)
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 光学LPFの一次設計 ・光学LPFの試作(多点描画) ・方向無依存性の確認(シミュレーション & 試作確認)	光学LPF(3×1枚)  $\geq \square 2.5\text{mm}$ $\leq 0.3\text{mm}$ 一括描画で確認 2光軸開き角 $> 0.236^\circ$ モアレ抑制の確認
	(2)三次元光回路導波路デバイス技術 波面制御法(ホログラム)で直線導波路  光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長1.55 μ m @Single Mode	直線導波路  9 μ m 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長1.55 μ m @Single Mode 3次元光カプラ: 1×16 挿入損失 $\leq 17\text{dB/cm}$ 反射減衰量 $\geq 45\text{dB}$ 波長1.50~1.60 μ m

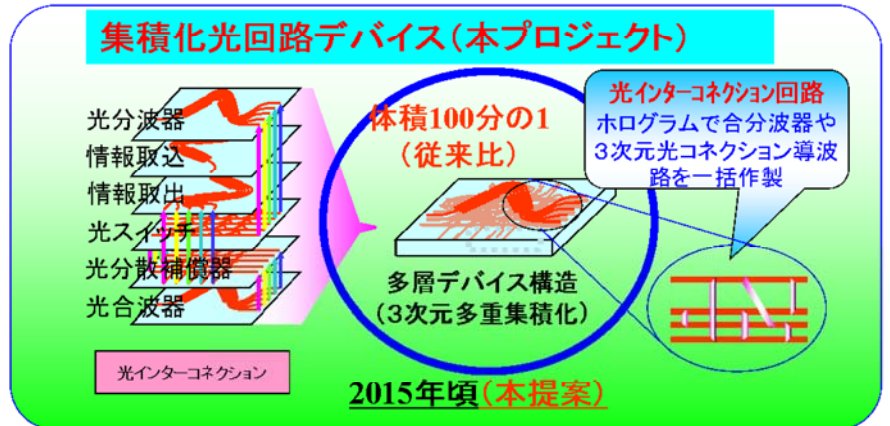
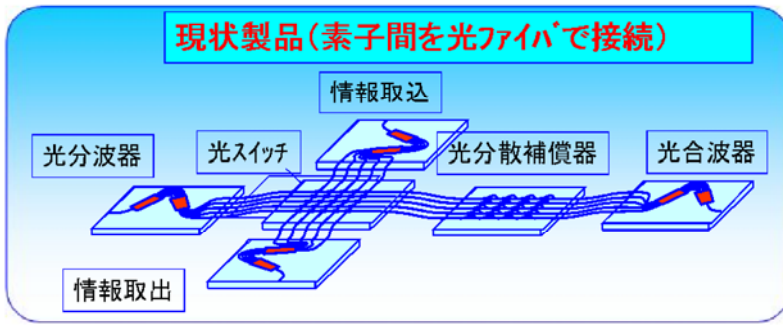
最終目標の設定理由

テーマ名	目標	設定理由
①-(1) デバイス加工用ガラス材料技術共通目標	異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス材料依存性を系統的に調べ、データの体系化を行う。	開発する一括加工技術をより広く適用できる分野を広げるために本共通目標を置き、より優れたガラス材料のデータを系統的に調べる。
①-(2) 三次元光学デバイス用ガラス材料技術	可視光領域(400nm~760nm)でガラス母材と異質相との屈折率差を0.015以上取れる透明な光学ガラス材料を開発する。	ガラスの屈折率差が0.015あれば厚みが数10 μ mの光学ローパスフィルタを製作できる。尚、光学ガラス以外のガラスで得られている屈折率変化は0.01程度である。
①-(3) 三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術	光伝搬損失:0.1dB/cm以下の直線導波路が作製可能なガラス材料を選定する。	フォトリソグラフィとドライエッチング技術により量産されている一般的なガラス光導波路の伝搬損失は0.1dB/cm程度であり、ポリマ光導波路では0.2dB/cm程度であるが、長尺で使用する特殊なケースを除けば伝搬損失は0.1dB/cm以下であれば問題ないレベルである。一括描画による実用レベルの導波路形成を確認することは三次元光回路デバイス用ガラス材料の開発において十分な目標と思われる。
②-(1) 三次元加工システム技術	ホログラム等による波面制御技術を開発し、三次元造形を従来比で100倍以上の高速加工を実現する。 具体的には、1パルスのレーザーショットにより、一辺60 μ mの立方体中、直径10 μ m以下の球状或いは棒状の異質相を100個以上形成する。	最終目標では、中間目標の成果を適用して、更なる微細化と更なる高速化を目的として、微細で高精度な三次元デバイスを作製するために必要な技術開発を設定している。この目標達成により、より高精度なデバイスをより高速で作製することが可能となる。また、この目標で得られた技術と最終目標で開発する材料技術との組み合わせにより、より高精度で、より高速でデバイスを作製できる技術が確立できる。他のテーマで得られた技術を組み合わせると、従来比で10,000倍の高速加工が実現できると考えられる。
②-(2) 波面制御三次元加工システム技術	波面制御素子を従来に比べて10倍以上の高速で設計できる技術を開発する。精度40nm以下の波面制御素子を作製する。	64万画素のホログラム設計に現状では100時間掛かる。これを最終目標として1/10にし、少なくとも1日で計算できるようにする。波面制御素子の高精度化は中間評価時に既に達成している。これにより更なる高精度ホログラムを作製する。
②-(3) 空間光変調器三次元加工システム技術	変調速度を50Hzに高め、光位相変調度として2 π ラジアン以上を確認する。耐光性として、50GW/cm ² (100fs,1kHz)を達成する。	変調速度はビデオレート以上でパターンが書き換えできるように決めた。光位相変調度は波面制御のためのホログラムを表現するために必要な特性を目標とした。耐光性では、ガラスに100点以上の異質部を一度に形成するのに十分な値として設定した。
③-(1) 三次元光学デバイス技術	一括照射で2.5mm角以上の領域に異質相を形成し、フィルタリング方向の無依存性を確認する。フィルタ厚みを0.3mm以下で実現する。	従来の水晶式と性能的に同等以上に、形状的には対抗できるように決めた。厚みは従来に比べて桁違いに薄く、使用枚数は1/3に、厚みは1/10以下に決めた。尚、従来の光学ローパスフィルタは3枚の水晶と位相板から構成されており、数mmの厚さを持つ。
③-(2) 三次元光回路導波路デバイス技術	波面制御法で直線導波路描画検討を行い、光伝搬損失:0.1dB/cm以下のシングルモード直線導波路が作製可能であることを実証し、これを使用して1 \times 16のスイッチを試作する。挿入損失で17dB以下、反射減衰量45dB以下を目標とする。	フォトリソグラフィとドライエッチング技術により量産されている一般的なガラス光導波路の伝搬損失は0.1dB/cm程度であり、ポリマ光導波路では0.2dB/cm程度であるが、長尺で使用する特殊なケースを除けば伝搬損失は0.1dB/cm以下であれば問題ないレベルである。このような光導波路を使用して最終目標のスプリッタを実現する。

事業の内容 フェムト秒レーザー・一括加工による製品イメージ



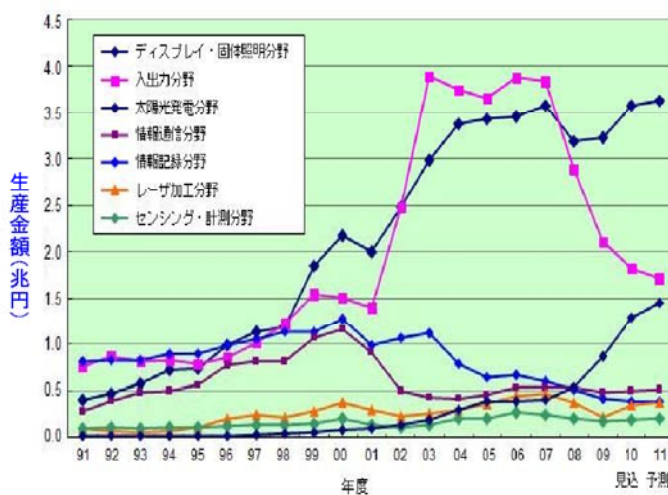
事業の内容（集積化光デバイスのイメージ）



事業原簿 20頁

17/25

本事業が関係する市場規模の統計



I-4 光産業界国内生産額の推移³⁾
2011年度予測は東日本大震災前の調査による。
出典：光産業技術振興協会

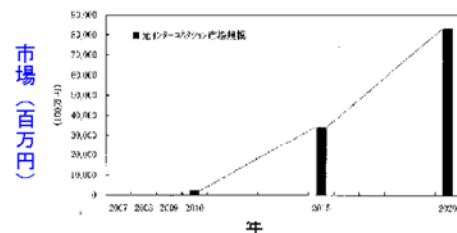


図 I-5 光インターコネクション市場規模⁴⁾
(出典：富士カメラ総研)

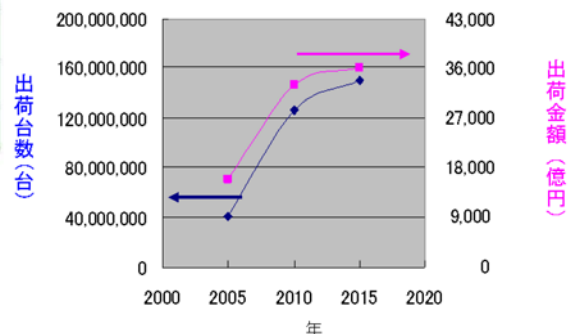


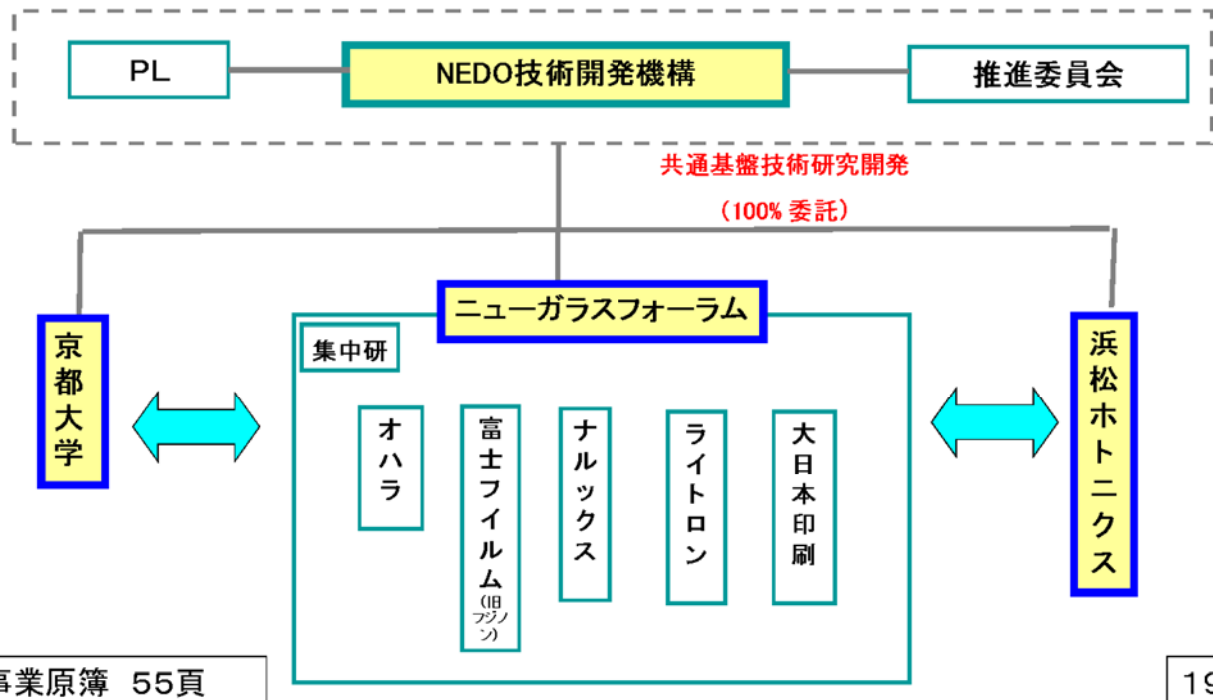
図 I-7 デジタルカメラの出荷台数・金額推移⁴⁾
出典：財団法人 光産業技術振興協会 (OITDA)、
有限責任中間法人 カメラ映像機器工業会 (CIPA)、
懶矢野経済研究所

事業原簿 23-26頁

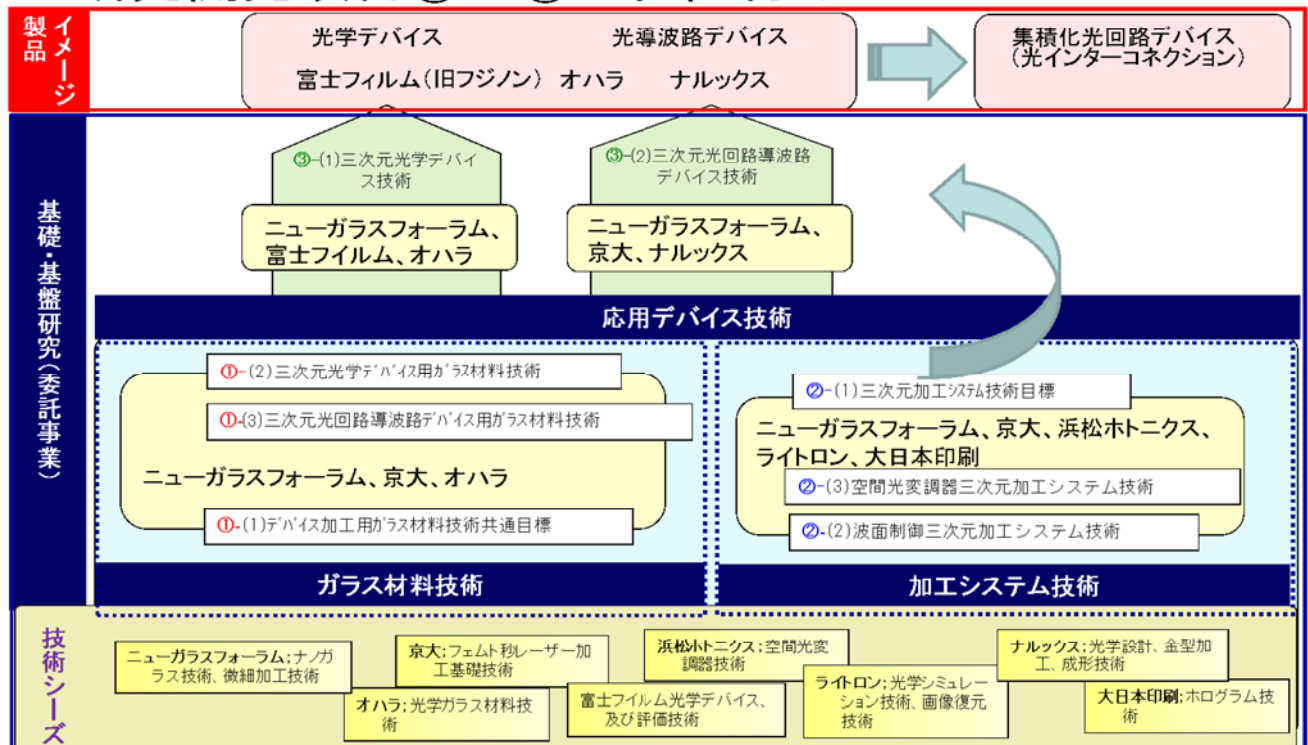
18/25

開発予算と研究開発体制

▶プロジェクト期間:平成18年度～平成22年度
▶予算規模:16.6億円



研究開発項目①～③の位置付け



研究計画と予算

	H18	H19	H20	H21	H22
①デバイス化加工用ガラス材料技術	(89) ●各種ガラスのレーザー加工性、データベース化 ●デバイス別ガラス組成最適化	(90)	(62)	(57)	(40) ●デバイス試作、動作確認
②三次元加工システム技術	(247) ●加工システム構築、加工基本情報の取得 ●ホログラム設計・作製 ●空間光変調器と波面制御モジュールの試作、および改良	(226)	(173)	(166) ●加工システムの改良 ●ホログラムの設計技術、および作製プロセス高精度化	(115) および作製プロセス
③三次元加工システム応用デバイス技術	(56) ●光学ローパスフィルタ設計・試作、動作確認 ●光導波路の基本性能の確認	(59)	(105)	(90) ●一括加工によるデバイス作製	(80)
予算(百万円)	392	375	340	313	235

実施の効果(費用対効果)

<開発費用>

5年間で約16.6億円(平成18年度～平成22年度)

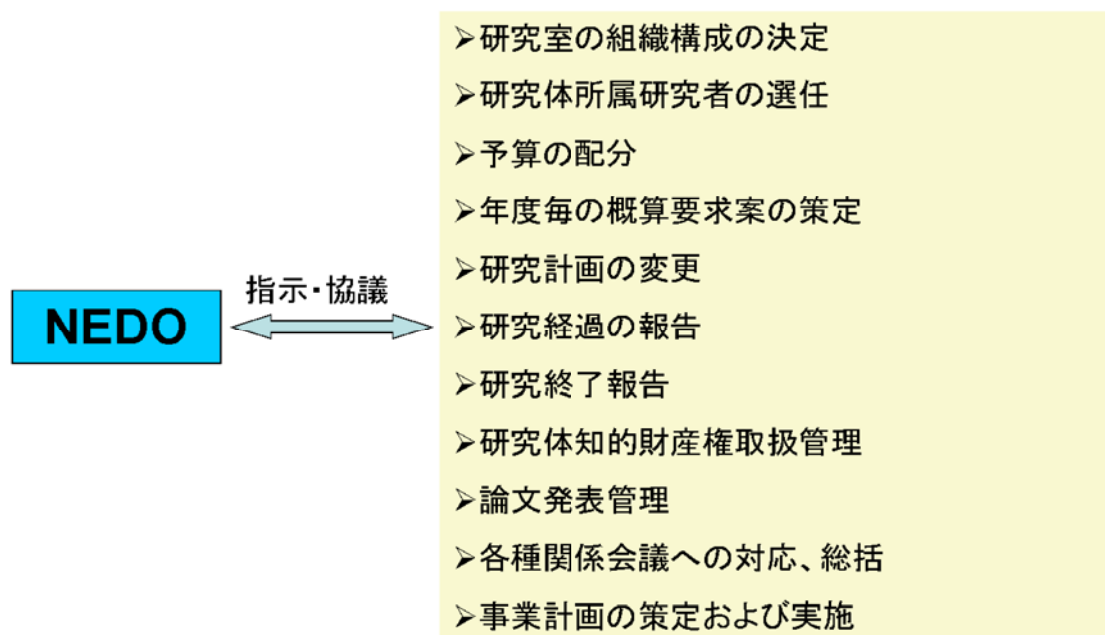
<効果>

[市場創出効果]

2015年度時点 約1,300 億円

* 効果の根拠については事業原簿 P I -1 参照下さい。

PLの役割



運営管理

NEDO、METI、PL、SL及び参画機関の代表者で下記の管理を実施

- 共同実施契約(京大、浜松ホトニクス、ニューガラスフォーラムで締結)
 - ・ 知財の取扱・管理
 - ・ 研究成果の公表→成果発表届(運営規則)
- 研究推進・業務委員会 2回/年
 - ・ 研究体運営管理に係る情報交換、研究開発状況、外部発表実績などを協議
- R&D会議 3回/年
 - ・ 研究成果報告、討論、進捗状況のチェック、方向付け
- 外部への成果発表を管理(論文、特許など)
 - ・ 発表内容、発表先、発表時期などのチェック
- 各社に研究リーダーを配置し、議論の場を持つ 1回/2~3カ月
 - ・ 早期に実用化する契機を造ることを目標

情勢変化への対応

京大: フェムト秒レーザーシステム高出力化

	H18	H19	H20	H21	H22
① デバイス化加工用ガラス材料技術	(89) ●各種ガラスのレーザー加工性、データベース化 ●デバイス別ガラス組成最適化	(90) 加速	(62)	(57)	(40) ●デバイス試作、動作確認
② 三次元加工システム技術	(247) ●加工システム構築、加工基本情報の取得 ●ホログラム設計・作製 ●空間光変調器と波面制御モジュールの試作、および改良	(226)	(173)	(166) ●加工システムの改良 ●ホログラムの設計技術、および作製プロセス高精度化	(115) および作製プロセス
③ 三次元加工システム応用デバイス技術	(56) ●光学ローパスフィルタ設計・試作、動作確認 ●光導波路の基本性能の確認	(59)	(105)	(90) ●一括加工によるデバイス作製	(80)
予算(百万円)	392	375	340	313	235