

平成20年度 新規委託研究
「裸眼立体映像提示の高画質化に関する研究開発」
研究計画書

1 . 研究開発課題

「裸眼立体映像提示の高画質化に関する研究開発」

2 . 研究開発の目的

利用者の負担を軽減するため、特殊なメガネを装着しない立体映像提示技術の研究開発が種々進められている。この最も理想的な方式は電子ホログラフィーであるが、利用する空間光変調素子¹⁾の画素ピッチが最小で7 μ m程度までのものしか実用化されていないことに起因し、表示される画質および視域(頭を動かしても再生像を違和感無く見ることができる範囲)には限界がある。また、理想的なホログラフィーに準ずる立体映像提示方式(以下、準ホログラフィー方式)である膨大な数の光線による空間像再生方式においても、空間光変調素子などの表示デバイスの画素数が少ないことに起因し、表示される画質および視域には限界がある。このような限界を打ち破り、高画質な立体映像を再生できる立体映像提示技術の研究開発は、米・欧・アジアの各国が積極的に立体映像技術の研究開発に取り組んでいる現状を考えると、日本の技術力の高さを示し国際競争を勝ち抜く上で緊急に取り組むべき課題である。

本委託研究では、電子ホログラフィーや準ホログラフィー方式などの立体映像提示技術で共通に利用可能な超高精細な空間光変調素子の開発、開発素子を用いた立体映像の、視聴による人体への(悪)影響を指標とした評価検証、の研究開発を産学連携で推進し、世界最高水準の高性能立体映像提示システムのための技術確立を目的とする。

- 1) 透過する光の振幅や位相の分布を空間的に変化させる光学素子のことを指し、代表的なものとしてプロジェクタ等に組み込まれている液晶素子がある。

3 . 研究開発期間及び予算

研究開発期間：平成20年度から平成23年度までの4年間。

予算：平成20年度は89百万円程度を上限とする。

なお、平成21年度～平成23年度にかけては、対前年度比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。

4 . 個別課題

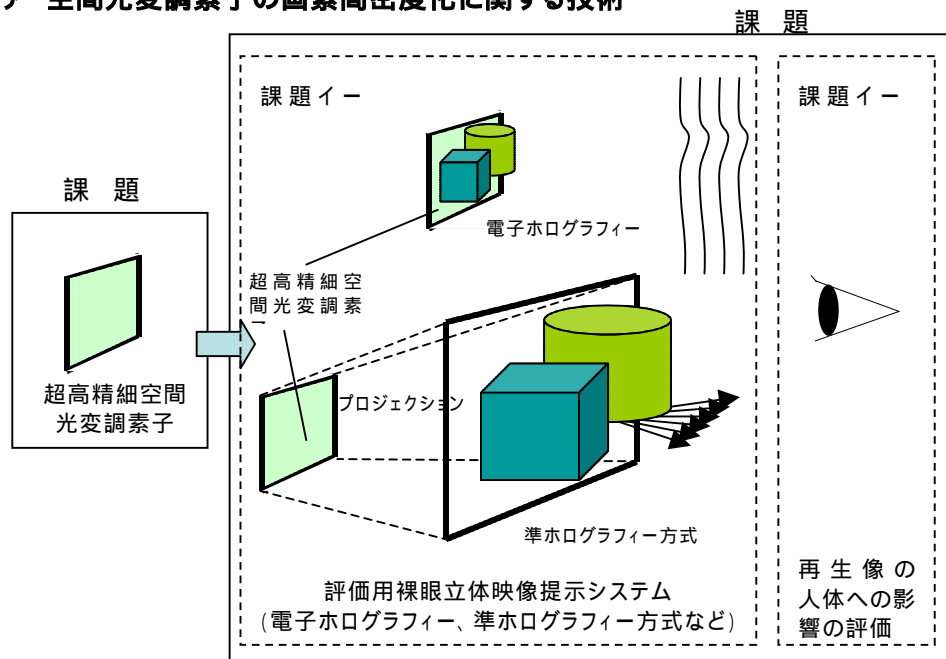
本研究開発では、

- 電子ホログラフィーや準ホログラフィー方式などの立体映像提示技術で共通に利用可能な空間光変調素子の画素高密度化技術
- 上記により開発される空間光変調素子を利用して提示される立体映像が人体に与える影響(例えば、調節・輻輳矛盾²⁾など)の評価

の研究開発を実施する。

以下に個別課題および図 1 に研究開発の概要を示す。

課題ア 空間光変調素子の画素高密度化に関する技術



課題イ 再生立体像の人体に与える影響の評価に関する技術

課題イ-1 評価用裸眼立体映像提示システムの開発

課題イ-2 再生像の人体に与える影響の評価

図 1 研究開発の概要

の空間光変調素子は従来よりも狭い画素ピッチを実現することで、電子ホログラフィーにおいて、参照光を斜めから照射した電子ホログラムの実現が可能となる。これにより、共役像による画質の劣化が防げるだけでなく、広視域な立体像の提示が可能となり、画質・視域両面において限界を克服できる。さらに、同じ空間光変調素子では、狭ピッチ化することで従来と同等のサイズでも多画素化することが可能となり、準ホログラフィー方式においても、従来よりも多くの光線数を再現することが可能となるため、高画質化や広視域化が可能となる。

また、実用化を考えると、これらの立体映像提示技術により再生される立体像が利用者に与える（悪）影響を明らかにする必要がある。

以下に個別研究開発課題を具体的に述べる。

- 2) 調節とは遠くを見たり近くを見たりするとき目の水晶体が行うピント合わせ機能であり、輻輳とは両眼のそれぞれの視線が作る角度のことを表す。また、両眼の視線が交わる位置を輻輳位置と言う。実世界の物を見る際には、輻輳位置にピントがっており、調節・輻輳は一致して眼精疲労を感じないが、これがずれる

(矛盾する)と眼精疲労が生じることが知られている。

個別課題の具体的内容

課題ア 空間光変調素子の画素高密度化に関する技術

空間光変調素子の画素構造を小型化し、5 μm よりも小さな画素ピッチ(画素ピッチを1 μm 程度まで狭めることが望ましい)を実現するための技術。

課題イ 再生立体像の人体に与える影響の評価に関する技術

課題アで開発する空間光変調素子を利用した高画質の裸眼立体映像提示技術を評価するため、立体映像提示システムを開発するとともに、こうした方式の立体再生像が人体に与える影響を評価するための研究開発を実施する。

課題イ - 1 評価用裸眼立体映像提示システムの開発

「課題ア 空間光変調素子の画素高密度化技術」の成果である超高精細空間光変調素子を利用して、奥行きのある物体を人が頭を横に動かしながら見るときに生じる画像の時間的变化(運動視差)をなめらかに再現できる評価用システムを構築する。

課題イ - 2 再生像の人体に与える影響の評価

「課題イ - 1 評価用裸眼立体映像提示システムの開発」により構築するシステムを利用して再生される立体映像が人体に与える影響を、事前のシミュレーションを含め、評価検証する。

なお、最終年度には、課題イ - 1の裸眼立体映像提示システムによる実証実験を実施し、個別課題の達成度を確認する。

研究開発に当たっての留意点

研究開発にあたっては、以下を留意すること。なお、以下は個別課題ではないが、提案に際しては、各項目に対する実施方法および達成目標を設定することが望ましい。

- (1) 実写映像への利用が想定されるため、映像入力系の実現可能性も考慮すること
- (2) 国際標準技術を獲得するため、ITU-T、MPEG などへの標準化提案を視野に入れた活動を戦略的に推進するとともに、研究開発後も引き続き、国際標準技術を獲得するための活動を推進すること。

5 . 研究開発課題選定の背景、研究開発の必要性及び他で実施されている類似研究との切り分け、標準化動向

1) 研究開発課題を取りまく現状

立体映像技術に関しては、現在ヨーロッパや韓国において国家プロジェクトが推進されている。ヨーロッパではFP6(Framework Program 6)において、3DTVプロジェクト(2004-2008)が 6.15 百万ユーロの予算のもと実施されている。また、韓国では、SmartTV 3D-AV プロジェクト(2002-2006)が 146 億ウォン(18 億円)の予算のもと実施され、現在もその後継プロジェクトが実施されている。さらに、米国ではハリウッドを中心に 3D 映画の実用化が盛んに進められている。

日本でも業界団体である 3D コンソーシアムや、2007 年に設立された超臨場感コミュニケーション産学官フォーラムがあり、立体映像技術の普及促進や基盤技術の研究開発などが積極的に行われている。

関連技術動向

立体映像提示技術は古くから研究がなされてきており、既にいくつかの方式に基づいた製品が実用化されている。以下にはこれらの技術動向をまとめる。

2 眼方式 (ステレオ方式)

2 眼方式は、左目と右目のそれぞれにわずかにずれた画像を見せる方式である。現行の映像装置をそのまま利用可能であり、メガネを用いれば比較的容易に立体映像を見ることが出来るため、シアターなどで広く普及しており、さらに普及の可能性を探る状況である。この方式では、利用するメガネの特徴から種々の方式があるが、その中でも最も利用されているのが、偏光方式(光の特性である偏光の違いを用いて左右映像を分離する方式)である。他にも、時分割方式(メガネ側に左右交互に開閉するシャッター機能を持たせる方式)やアナグリフ方式(青赤メガネを用いる方式)がある。

また、メガネを装着しない方式として、縦のスリットにより左右映像の光路を分離するパララクスバリア方式、かまぼこ型の細かなレンズ配列を用いるレンチキュラスクリーン方式がある。これらは観察位置や視域に制限が生じるが、メガネの装着が不要なことから利用者に対する負担がなく、携帯電話や PC のディスプレイなどを対象に既に実用化もされている。

多眼方式

左右の 2 つの視点だけでなく、もっと多くの視点から映像を再現する方式であり、

眼の位置が移動してもそれに追従した映像を見ることができる方式である。ここ数年盛んに研究がなされてきており、視点数が 10 程度のパララックスバリア方式やレンチキュラー方式のものが実用化されている。

インテグラル方式

この方式は、インテグラルイメージングとも呼ばれ、先の 2 眼式や多眼式が左右の目に入る画像を再現しているのとは異なり、空間内に実物が存在する場合と同様な光線を再生する方式である。次のホログラフィーとあわせて空間像再生方式と呼ばれることがある。また、視差として水平方向の視差だけでなく、垂直方向の視差も考慮する方式も提案されているが、いずれの場合も現段階では研究レベルに留まっている。

ホログラフィー

ホログラフィーは他の立体映像提示方式と異なり、物体からの光を干渉縞と呼ばれる非常に細かいパターンとして記録再生するものである。そのため、先のインテグラル方式が物体からの光線群を再現するのとは異なり、物体からの光をより正確に再現できる。しかし、画素ピッチが非常に細かい素子が必要であり、現在種々の工夫により立体映像の再生の研究を進められているが、まだ基礎的な検討段階である。

例えば、水平方向の画素ピッチを D_h 、記録再生に利用される波長を λ 、視域角を $2p$ （正面方向から $\pm p$ ）とすると、理想的には概ね以下の式が成り立つ。

$$\lambda = 2 D_h \times \sin(p) \quad (\text{式 1})$$

そのため、記録再生に利用される光の波長 λ を 500nm、現在入手可能である空間光変調素子の画素ピッチ D_h を 10 μm とすると、理想的な状況でもおおよそ $p=1.4$ つまり水平方向の視域は 2.8 度程度のものしか再生できない。一方、垂直方向は、一般に水平方向よりも同じ、あるいはさらに細かい画素ピッチが求められる。

また、空間光変調素子で再生されるホログラフィーによる立体像の解像度は、素子自体の解像度に応じて高くなる（原理的に素子の解像度よりは低くなる）ものの、光源の性質などの諸条件にも依存するため、現状では SDTV の画質よりもはるかに下回る低解像度の映像しか得られていない。

仮に 3 μm の画素ピッチが実現できれば、(式 1) より、理論的には水平方向の視域は 10 度程度が実現できることになる。また、総画素数の増加により、再生されるホログラフィーの解像度も現状より良くすることができる。ただし、これらはシステム化による種々の要因により劣化するため、最終的には実験システムに組み込んで確認する必要がある

2) 研究開発の必要性

最近、ステレオ方式（2眼方式）による立体映画がアメリカや韓国、日本で上映されるようになってきた。また、日本のBSデジタル放送において、立体放送が開始されるなど、ステレオ立体映像が実用化されるようになってきている。映画業界で実用化されるようになってきたのは、ちょうどフィルムからビデオプロジェクターによるデジタルシネマへの移行期にあたり、デジタルシネマの装置をそのまま利用できる立体視の方式提案もあいついて、ハリウッドなどの映画制作者が立体映像に注目するようになったためである。

現在実用化されているステレオ方式では、人が奥行きのある物体を見たときに左目と右目の位置の違いによりそれぞれの眼ではわずかにずれた画像を見ている現象（両眼視差）を利用している。しかし、人が奥行きを知覚する生理的な手がかりには、両眼視差だけでなく、運動視差や物体までの距離に応じた水晶体のピント調節応答もある。人はこれらの生理的現象を手がかりにして奥行きを知覚しているが、ステレオ方式はその一部（両眼視差、しかも水平方向の視差）だけを利用しているに留まっている。

そこで、人が自然に奥行きを知覚するためには、両眼視差（垂直方向の視差も含む）、運動視差、ピント調節応答など他の奥行き知覚の手がかりを全て再現することが必要であり、しかも特殊なメガネをかけることなく実現することが望まれる。これを原理的に実現できるのが、ホログラフィーである。そのため、人が自然な立体像を知覚するために、ホログラフィーあるいはホログラフィーに準ずる方式による立体映像提示技術の研究開発が必要である。特に、再生される立体像を高画質化するためのキーテクノロジーは空間光変調素子の画素高密度化技術であり、この技術の研究開発が必要不可欠となる。これにより、実際の我々の生活の場と同様に、奥行きや位置関係が3次元的な広がりをもった空間として知覚できるようになる。

このような、自然な立体映像を提示する技術に関する研究開発は、ヨーロッパや韓国において政府主導で研究開発が開始されている状況である。このため、国際競争力を失うことなく協調して研究開発を進めるためにも、公的支援による本研究開発が必要である。

3) NICT 及び他で実施されている類似研究との切り分けと NICT 委託研究における本開発課題の位置づけ

本研究開発におけるキーテクノロジーは課題アの空間光変調素子の画素高密度化技術であり、類似の研究開発として H18 年度から実施されている NICT からの

委託研究「多並列・像再生型立体テレビシステムの研究開発」がある。この委託研究では、総画素数 3000 万程度の超多画素化技術の研究開発を進めているが、これは 800 万画素クラスの素子を 4 枚組み合わせるなどの手法も駆使し多画素化を狙ったものである。これに対し、本研究開発では、画素ピッチが 5 μ m よりも狭い素子を実現することを目指しており、空間光変調素子の高密度化を狙っている点に新規性がある。また、NICT 自身が実施している研究開発において、電子ホログラフィー技術の研究開発があるが、この研究開発ではカラー化や広視域化などシステム化技術の研究開発を進めており、空間光変調素子そのものの研究開発は実施していない。しかし、本研究開発における成果である空間光変調素子を NICT で進めているシステム化技術と組み合わせることで、視域拡大や高解像度化が可能となる。また、課題イ - 2 に関する類似の研究開発として、NICT 自身が進めている超臨場感コミュニケーション技術の研究開発がある。この研究開発では、心理物理実験や脳活動計測などにより、人が感じる臨場感の評価、特に質感（光沢感）や包囲感など立体映像提示が人に与えるポジティブな影響について評価を実施している。これに対し、本研究開発では、調節輻輳矛盾などの人体に与える生理的にネガティブな影響について評価を行うことにしており、お互いに補完しあう研究課題となっている。

4) 標準化動向

現在、MPEG において標準化が進められている。具体的には、2 眼方式による立体映像伝送は MPEG2 のプロファイルの一つとして既に標準化が完了している。現在は、ステレオ視の延長にある多視点映像の符号化に関して標準化が進められており、視点映像間の相関を利用した圧縮方式が多視点映像符号化(MVC)として 2008 年に標準化が予定されている。さらに、自由視点テレビ(FTV)の標準化も 2008 年より開始される予定であり、2010 年以降に標準化が見込まれている。一方、立体映像の評価に関しては、ステレオ画像に関する手法の一部が ITU-R において標準化されるに留まっている。また、ステレオ視による人体に与える疲労に関する標準化は ISO にて取り組まれている段階である。

まとめると、2 眼方式に関する標準化はその多くが現行(非立体)映像規格の拡張に留まるもののほぼ完了し、現在、複数視点の映像伝送技術の標準化が進められている段階であり、さらに自然な立体視を可能とするホログラフィーや準ホログラフィーに関する標準化の取り組みはまだ行われていない。人体におよぼす影響についても、ステレオ視に関して取り組みが始められた段階であり、ホログラフィーや準ホログラフィーに関する取り組みはまだ行われていない。

6. 研究開発の到達目標

研究開発の到達目標を以下とする。

なお、到達目標は最低限の目標であり、提案に際しては、当該到達目標を超える目標の設定が望ましい。また、当該到達目標は、本委託研究に関する技術や利用動向を勘案しつつ、必要に応じて計画実施の途中でも見直しを行うものとする。

全体目標

空間光変調素子の画素高密度化技術に対しては画素ピッチが $5\mu\text{m}$ よりも小さな素子を実現するだけでなく、 $1\mu\text{m}$ 程度にまで高密度化できる可能性を明らかにすること。また、再生立体像の人体への影響に関しては、なめらかな運動視差を再現できる立体映像提示システムを実現し、このシステムを利用して人体への（悪）影響を明らかにすること。

個別課題目標

課題ア 空間光変調素子の画素高密度化技術

- ・ $5\mu\text{m}$ よりも狭い画素ピッチ
- ・ 総画素数 8 百万以上
- ・ フレームレート 60fps 以上

を実現すること。

（上記三要素については、提案者側で具体的数値目標を提示すること）

課題イ 再生立体像の人体に与える影響の評価に関する技術

- ・ 課題アで開発する空間光変調素子を必ず利用した評価を実施すること

課題イ - 1 評価用裸眼立体映像提示システムの開発

以下を実現・実施すること。

- ・ 滑らかな水平方向の運動視差を再現できること
（提案者は提案時に具体的数値目標を提示すること）
- ・ 視域が 10° 以上であること
- ・ 観察位置において各視点の間隔が 1cm 以下であること
- ・ 運動視差の望ましい再現特性について検討を行うこと

課題イ - 2 再生像の人体に与える影響の評価

- ・ 「課題イ - 1 評価用裸眼立体映像提示システムの開発」と連携して、再生される立体映像が人体に与える（悪）影響を明らかにすること

7. 期待される波及効果

1) 類似研究開発面に期待する波及効果

超高精細な空間光変調素子の実現により、ホログラフィーや準ホログラフィー方式に基づく立体像の画質が大きく向上することが期待できる。また、さらに高精細な素子の開発見通しを得ることで、今後のホログラフィーや準ホログラフィー方式における立体映像提示技術に大きく影響を及ぼすと考えられる。

2) 実用化面に期待する波及効果

自然な立体映像を高画質で実現する方式を確立することで、立体テレビや立体コミュニケーションシステム、教育や医療分野などにおける立体映像を利用した新たなアプリケーションの創出につながることを期待される。また、人体への影響を評価検証してガイドラインを作成することで、安全なサービス基盤確立への貢献が期待できる。

3) 標準化活動面に期待する波及効果

本研究開発により、立体映像提示技術が大きく進展し、立体映像伝送における標準化に大きく貢献することが期待される。また、世界に先駆けて自然な立体映像を高画質で実現する方式を確立することにより、国際標準化においても先導的な役割を果たし、立体映像技術における日本の国際競争力の獲得につながることを期待される。

8. 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールは概ね以下の通りである。

課題アについては平成 22 年度までに順次試作を行い、課題イ - 1 については、平成 22 年度末までにプロトタイプを完成する。また、課題イ - 2 は平成 22 年度までに評価方法を確立し、平成 23 年度は開発する素子による再生像の評価実験を実施する。

	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度
	スタートアップ ミーティング	中間評価	中間評価	最終評価
課題ア： 空間光変調素子の画素高密度化に関する技術	方式検討	設計	試作	評価実験
課題イ - 1： 評価用裸眼立体映像提示システムの開発	方式検討	設計	開発	
課題イ - 2： 再生像の人体に与える影響の評価	手法検討	シミュレーションによる評価実験	システム開発への反映	