

E. 結論

リアルタイムIV立体表示システムを実現するための高速IV画像作成アルゴリズムを開発した。GPU計算エンジンの導入及びそれに最適なIV画像作成アルゴリズムを用いてリアルタイムIV画像作成が可能になった。今後、大画面上のリアルタイムIV立体表示システムを構築し、胎児外科への臨床応用を目指す新しい手術誘導システムを開発して行きたい。

F. 健康危険情報

統括研究報告書に記載

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1. N. Herlambang, H. Liao, K. Matsumiya, K. Masamune, T. Dohi, "Real-time Integral Videography Rendering using Compute Unified Device Architecture", Proc. 3rd Asian Conference on Computer Aided Surgery, Singapore 1-2 December 2007.

2. N. Herlambang, H. Liao, K. Matsumiya, K. Masamune, T. Dohi, "GPU-accelerated Real-time 3D Ultrasound Integral Videography Visualization System", Proc. 3rd Asian Conference on Computer Aided Surgery, Singapore 1-2 December 2007.

3. 廖洪恩, ヘルランバン ニコラス, 松宮潔, 正宗賢, 佐久間一郎, 千葉敏雄, 土肥健純: 三次元医用画像Integral Videographyの開発と応用; 第3回 3次元超音波研究会, p. 1, 東京2007年9月.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

別添5

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
千葉敏雄	胎児外科			日本評論社	日本	2007	

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
石山昭彦、山下紘正、三好敏喜、宮本義孝、千葉敏雄	超高感度内視鏡技術の開発（特集I 先端医療を切り拓くナノメディシン）	炎症と免疫	16 (1)	15-20	2008
N. Herlambang, H. Liao, K. Matsumiya, K. Masamune, T. Dohi	Real-time Integral Videography Rendering using Compute Unified Device Architecture	3 rd Asian Conference on Computer Aided Surgery	2007	CD-ROM	2007
N. Herlambang, H. Liao, K. Matsumiya, K. Masamune, T. Dohi	GPU-accelerated Real-time 3D Ultrasound Integral Videography Visualization System	3 rd Asian Conference on Computer Aided Surgery	2007	CD-ROM	2007
廖洪恩, ヘルランバン ニコラス, 松宮潔, 正宗賢, 佐久間一郎, 千葉敏雄, 土肥健純	三次元医用画像Integral Videographyの開発と応用	第3回 3次元超音波研究会	2007	P. 1	2007

超高感度内視鏡技術の開発

石山昭彦* 山下紘正* 三好敏喜* 宮本義孝* 千葉敏雄*

診断機器の向上と診断技術の進歩に伴い、疾患に対する治療戦略にも変化がみられ、治療機器の高度化に対するニーズも時代とともに高まっている。現在、外科系手術において内視鏡は欠くことのできない医療機器の1つであるが、胎児の内視鏡治療分野もその例外ではない。とくに内視鏡手術での安全性・治療成績の向上には小型で超高感度な内視鏡の開発が求められている。そこで、このようなニーズに応えるため、超高感度 HARP 光電変換膜を電界放射陰極アレイ (FEA) の導入により小型超高感度撮像素子 “FEA-HARP” とし、内視鏡に応用するプロジェクトが進行中である。この FEA-HARP の原理を含め新しい内視鏡開発について概説する。

はじめに

近年、超音波診断機器の高性能化や診断技術の進歩により、妊婦健診で子宮内胎児の臓器や胎盤・羊水異常が発見されることが多くなった。これらの出生前病態に伴う出生後障害を予防するための「胎児期治療」が欧米を中心に発展・普及し、わが国でも一部の医療施設ですすでにおこなわれるようになってきている。胎児治療では、母体、胎児の両者のリスクを最小限にする必要があることから、本治療の実施にあたり内視鏡機器は必要不可欠なデバイスといえる。この内視鏡の小型化、軽量化、高感度化を実現することは、手術の安全性や正確性を高め、その手術成績向上の一助になる

[キーワード]

HARP

FEA

FEA-HARP

超高感度内視鏡

* ISHIYAMA Akihiko, YAMASHITA Hiromasa, MIYOSHI Toshinobu, MIYAMOTO Yoshitaka, CHIBA Toshio/国立成育医療センター 特殊診療部

と期待される。

現在、日本放送協会 (NHK) 放送技術研究所が中心となって放送用に開発してきた HARP (High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor) 方式撮像素子を内視鏡へ導入し、その小型化・軽量化・高感度化を実現するプロジェクトが進行中である。本稿では、HARP 方式撮像素子の動作原理を含め内視鏡への応用に向けての過程につき概説する。

1. 胎児外科治療について

超高感度内視鏡の開発計画に至った経緯を説明するにあたり、近年、国内でもはじまっている胎児・胎盤手術について触れ、その問題点を挙げておきたい。そのなかでも、ここでは一絨毛膜性双胎妊娠における双胎間輸血症候群 (twin-twin transfusion syndrome: TTTS) に対する胎児内視鏡下胎盤血管レーザー凝固術を例に挙げて説明したい。

TTTS は一絨毛膜性 (多くは一卵性) 双胎の胎盤上に両双胎間の吻合血管が存在することで双方

の間に血流不均衡が生ずる病態であり、一絨毛膜性双胎妊娠の10~15%に発症する。また、妊娠中期までに発症した場合、罹患双胎児の死亡率が60~80%と予後が不良となるだけでなく、生存児での神経学的後遺症が高いことも大きな問題とされている。その本質的な治療法として、1990年代よりはじめられてきたものが、胎児内視鏡を用いるレーザー焼灼により、胎盤表面の双胎間血管吻合を焼灼・凝固・閉塞する手技である¹⁾。

具体的には、まず母体腹部表面におかれた超音波断層画像用のプローブにて、子宮内の胎児・胎盤の配置と相互位置関係を把握する。つぎに、トロッカーを母体腹壁より経皮的に子宮内腔に穿孔し、これを通して胎児内視鏡(外径約4mm)を挿入し、子宮内の観察と胎盤表面血管へのレーザー焼灼治療をおこなう。この手術により、児の周産期予後は明らかに改善しているが、治療手技としてはいくつかの問題点がいまだ未解決のままである。

1) 内視鏡光源(子宮内照射)に伴う胎児視覚器発達へのリスク²⁾³⁾

子宮内腔環境は、本来、生理的に外部光から完全に遮断された照度ゼロの環境である。たとえ子宮内に光照射をおこなっても、胎児には何ら負の影響は生じないとする報告もみられる²⁾が、その一方で内視鏡下での観察のために子宮内を人工的に強く照射することは、胎児視覚器(眼球・網膜)の正常な発達を阻害するとする報告もみられることから³⁾、胎児内視鏡操作に際しては、子宮内照度を可能なかぎり低く抑えることが望ましい。

2) 内視鏡光源使用に伴う子宮内羊水の温度上昇とそのリスク

内視鏡挿入と子宮内照射用光源の使用により、子宮内が一定程度加温され、羊水温が上昇した場合、胎児に負の影響を及ぼすことも懸念されている。これには、子宮内温度上昇による内分泌環境

の恒常性かく乱などが関連するものと想定されている。

3) 内視鏡デバイスの軽量化・小型化・ケーブルレス化

従来の内視鏡では、その動作を妨げるものとして、内視鏡に接続する2本のケーブル(画像伝送用、光源用)が指摘されている。もし光源ケーブルが不要となれば、内視鏡の操作性・可動性は飛躍的に改善されることとなり、その軽量化・小型化とあいまって、術者の大幅な負荷軽減と、手術の安全性・正確性、いっそうの手術時間の短縮などが期待できる。

2. HARP方式超高感度・高精細撮像管

これらの問題を打開するため、放送用小型超高感度カメラへの適用を目的にNHK放送技術研究所を中心に開発が進められているHARP方式撮像素子を、内視鏡に導入するためのプロジェクトチームが結成された。

HARPとはHigh-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductorの頭文字をとったもので、アモルファス(非晶質;結晶ではない)セレンを主成分とする半導体薄膜中でのアバランシェ増倍(電子なだれ増倍)現象(図1)を利用した、超高感度な光電変換膜(光を電荷に変換する膜)の名称である。このHARP光電変換膜を適用したHARP方式撮像素子として、すでにHARP撮像管が開発、実用化され⁴⁾、標準テレビ用のみならず、ハイビジョン用のハンディカメラにも適用されている。図2にHARP撮像管を適用したハイビジョンカメラと、CCD(charge coupled device)を適用したハイビジョンカメラで撮影した画像の違いを示す。CCDは汎用性が高く、ビデオカメラや電子スチルカメラ、内視鏡などにも使用されている代表的な固体撮像素子であるが、HARP撮像管はこのCCDに比して約50倍の感度を有し、また、アバランシェ増倍に伴うノイズ

が少ない
を得るこ
を適用し
道やオー
ている⁵⁾。

3. ト

撮像素
撮像管が
分野に応
さいもの
メラや。
れるデバ

つと想定されて

小型化・

上げるものとし
ル(画像伝送用、
源ケーブルが
動性は飛躍的
化・小型化と
と、手術の安
]の短縮などが

5 精細撮像管

送用小型超高
放送技術研究
HARP 方式撮
プロジェクト

che Rushing
字をとったも
ではない)セレ
アバランシェ
利用した、超
きする膜)の名
義を適用した
HARP 撮像
ビ用のみなら
メラにも適用
を適用したハ
coupled de-
ラで撮影した
が高く、ピデ
鏡などにも使
用であるが、
約 50 倍の感
に伴うノイズ

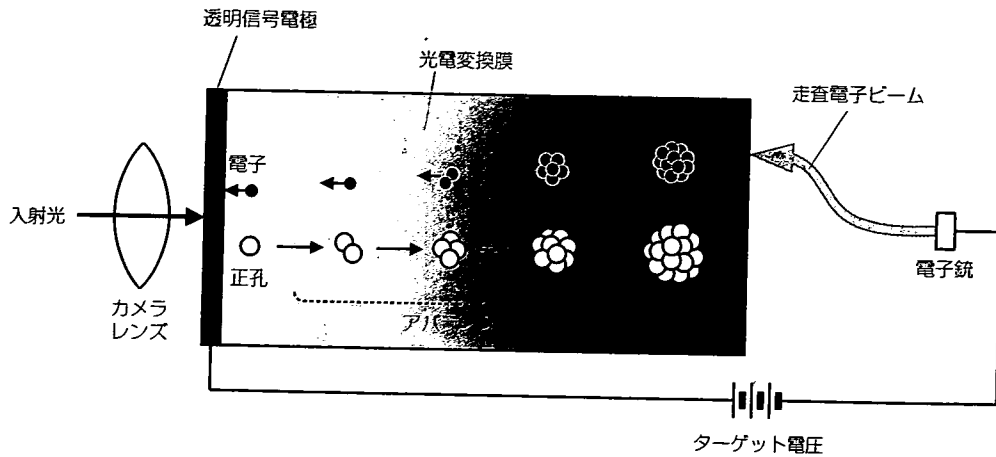


図 1. HARP の動作原理 (久保田節ほか, 1996⁷⁾より引用)

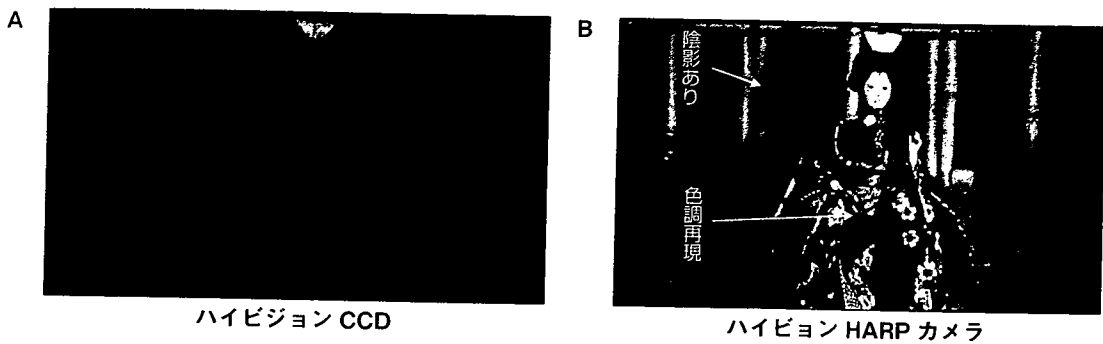


図 2. HARP カメラと CCD カメラの画像比較 (被写体照度: 5 ルクス)
(NHK 放送技術研究所提供)

が少ないことから、わずかな照明でも鮮明な画像を得ることができる。現在、この HARP 撮像管を適用したハイビジョンカメラは、夜間の緊急報道やオーロラ撮影などの科学番組制作に活用されている⁵⁾。

3. HARP 撮像管の小型化 ～FEA-HARP～

撮像素子として CCD の感度を凌駕する HARP 撮像管が実用化され、映像メディアのさまざまな分野に応用されている。しかし、この撮像管は小さいものでも長さが 100 mm 程度もあり、小型カメラや、内視鏡などの小型で高い操作性が求められるデバイスへの適用は困難であった。そこで、

このような問題を抜本的に解決して、小型で高い操作性が求められるデバイスへの適用を可能とするため、図 3 に示すような電界放射陰極アレイ (field emitter array: FEA) を適用した新たな HARP 方式小型撮像素子 “FEA-HARP” の開発が進められている。FEA-HARP は NHK 放送技術研究所を中核とした国内メーカーで開発が進められている、新規性と独創性の高い技術である。FEA 自体は、米国で発明され、CRT (cathode ray tube; いわゆるブラウン管) と同様な原理に基づく自発光平面ディスプレイ (field emission display: FED) への適用を目指し各国で研究・開発が続けられているが、撮像素子への応用はほかに実施例がなく、次世代の小型超高感度撮像素子と

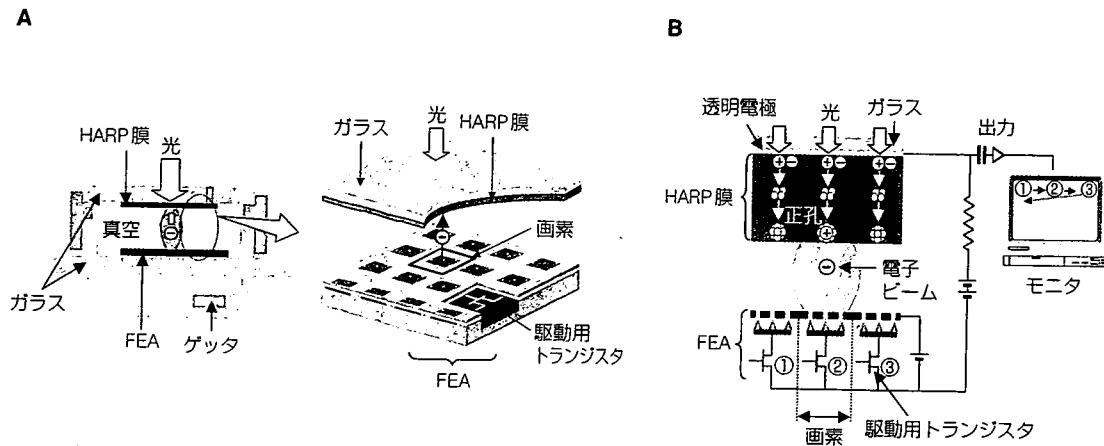


図 3. FEA-HARP の構造と動作原理
A: 全体構造, B: 動作原理

してさまざまな分野からその開発に大きな期待が寄せられている。

4. FEA-HARP の構造と機能

FEA-HARP は、超高感度な HARP 光電変換膜 (HARP 膜) と、加熱を必要とせず電圧を印加するだけで電子を放射する微小な電界放射陰極 (field emitter) のマトリクスアレイとを近接させて対向配置した、小型超高感度撮像素子である⁶⁾。開発当初は外部の駆動回路から供給したパルス電圧で FEA を直接、駆動する方式 (パッシブ駆動方式) を採用していたが、FEA の高速駆動を可能とし、駆動に必要な外部接続配線数を減らすため、近年、各画素に駆動用トランジスタを内蔵したアクティブ駆動方式の FEA が開発され (図 3A)、性能および利便性の向上が図られた。

上述した FEA-HARP では、HARP 膜に入射した光は透明電極近傍の膜内部に入射光量に応じた電子・正孔対を生成する (図 3B)。このうち、正孔は透明電極を介して HARP 膜に印加された強い電界によって加速され、膜を構成する原子と次々に衝突することで、新たな電子・正孔対を生み出す。このようなアバランシェ増倍された正孔が蓄積されることで HARP 膜の電子走査側には入射光像に対応した正孔パターンが形成される。一方

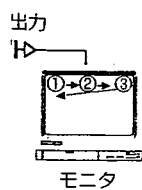
で FEA には映像規格に応じた各種制御信号が入力され、これらの信号によって各画素内の駆動用トランジスタを順次、スイッチングすることで、各画素から次々に電子ビームが放射される。この電子ビームは FEA と HARP 膜との間に形成された磁界によって HARP 膜上に集束され、最終的に FEA から放射された電子と HARP 膜に蓄積された正孔とが結合した際に外部回路に流れる電流を出力として取り出すことで、わずかな光量でも入射光像に対応した低ノイズの映像信号が得られる。

以上総括すれば、FEA-HARP の特長として以下 6 つの点を挙げるができる。すなわち、①現状の CCD に比べ、遥かに高い感度が得られ (すなわち、月明かり程度の明るさでノイズの少ない鮮明な映像を得ることができる)、②感度は可変で、被写体の明るさに応じて適切な感度設定が可能であること、また、③小型軽量かつ低消費電力で、④暗部での階調再現性にもすぐれ、⑤強い光が入射したときには出力信号が圧縮され、その階調を再現できる (すなわち、広いダイナミックレンジを得ることができる) こと。最後に、⑥空間・時間分解能にすぐれた高い画質を実現できる点 (すなわち、解像度が良好で均一かつ低残像の画質が得られる) も挙げるができる。

母胎

画像

強い光源を
いること、素
下の実現を目
性を有するとい
鏡応用に非常



ジスタ

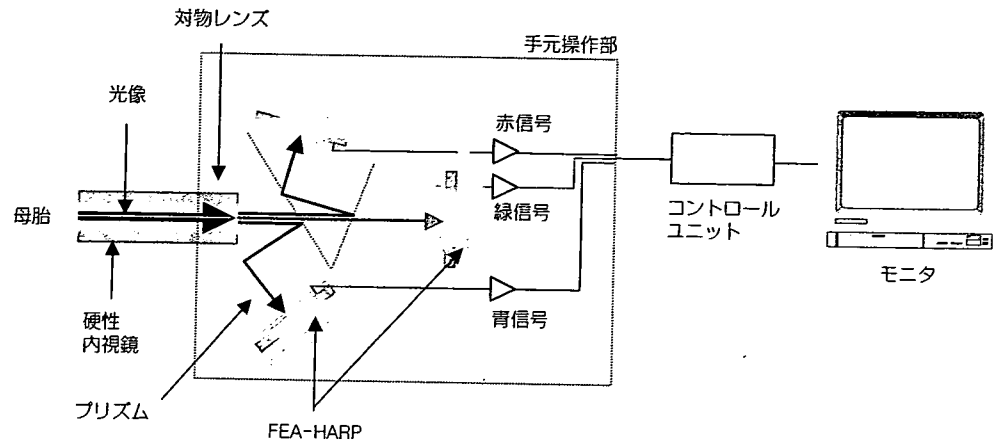


図 4. FEA-HARP を適用した内視鏡システムの構成例

制御信号が入素内の駆動用することで、される。この間に形成さ束され、最終IARP膜に蓄回路に流れるわずかな光量映像信号が得

特長として以すなわち、①感度が得られでノイズの少い)、②感度は切な感度設定量かつ低消費すぐれ、⑤強圧縮され、そいダイナミック。最後に、⑥質を実現でき一かつ低残像まきる。

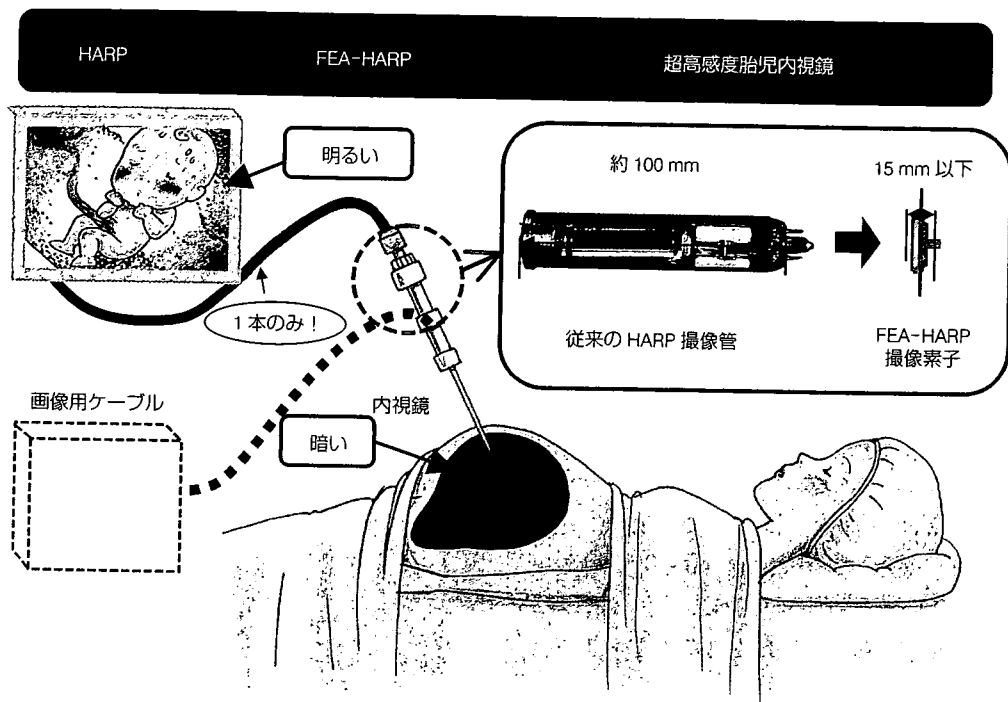


図 5. FEA-HARP 方式超高感度内視鏡

強い光源を要さずに暗部の描出性能にすぐれていること、素子が小型であること(厚さ 15 mm 以下の実現を目指している)、また、良好な解像度特性を有するといったことから、子宮内利用の内視鏡应用到非常に適する撮像素子であるといえる。

5. 超高感度内視鏡の開発に向けて

プロジェクトチームでは、この FEA-HARP 技術を応用した超高感度内視鏡システム(図 4)の実現可能性を探るため、現在、動作検証用 FEA-HARP、ならびにこれを搭載した基礎実験用超高

1 感度内視鏡の試作に取り組んでいる。今後、動物実験などで安全性・有効性を確認し、妊娠子宮内における内視鏡治療への適用に向けて開発を進めていく予定である(図5)。

おわりに

われわれは、胎児外科治療に今後有用となるデバイスの高度化の一環として、現在、超高感度内視鏡の開発に取り組んでいる。HARP方式撮像素子は医療分野において、放射線医療診断への応用が進んでいるが⁷⁾、微弱な発光や蛍光、強い照明を与えると不具合が生じる細胞のリアルタイム撮影など、悪条件での観察が要求される領域でも使用可能であることから、今後、このような分野での応用がますます広がるものと考えられる。

今回、超高感度内視鏡の開発についての概要を示したが、この開発成果は決して胎児外科治療という限られた領域にとどまるものでなく、その安全性・効率性から、小児(新生児)内視鏡手術、成人に対する一般消化器系・呼吸器系内視鏡手術にも応用が可能であると考えられる。その早期開

発・実用化に向けて、本プロジェクトを推進していきたい。

文献

- 1) 千葉敏雄：一絨毛膜性双胎と胎児外科治療。胎児外科，日本評論社，東京，2007，pp.98-131
- 2) Quintero RA *et al*：Effect of endoscopic white light on the developing visual pathway：A histologic, histochemical, and behavior study. *Am J Obstet Gynecol* 171：1142-1148, 1994
- 3) Sanchez del Campo F *et al*：Action of laser light on the ocular development of chick embryos. *Anat Anz* 169：253-259, 1989
- 4) 谷岡健吉ほか：アバランシェ増倍 a-Se 光導電膜を用いた高感度 HARP 撮像管。映像情報メディア学会誌 44：1074-1083, 1990
- 5) 谷岡健吉：高感度 HARP 撮像管の研究と今後の展開。NHK 技研 R&D 67：4-15, 2001
- 6) 難波正和ほか：1 インチ 256×192 画素アクティブ駆動型 HEED 冷陰極 HARP 撮像板。映像情報メディア学会誌 61：387-392, 2007
- 7) 久保田節ほか：ハイビジョン新 Super-HARP 撮像管とその放射線医療診断への応用。テレビジョン学会技術報告 20(71)：13-18, 1996

Real-time Integral Videography Rendering using Compute Unified Device Architecture

Nicholas Herlambang¹, Hongen Liao², Kiyoshi Matsumiya¹,
Ken Masamune¹, Takeyoshi Dohi¹

¹*Graduate School of Information Science and Technology,*

²*Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo, Tokyo, Japan*

nicholas@atire.t.u-tokyo.ac.jp

[Introduction] Integral Videography(IV) is a stereoscopic imaging method that projects light rays into 3D space using the combination of high-resolution display and convex lens array that is placed in front of the display. Compared to other stereoscopic imaging method such as binocular stereoscopic, IV has advantages that it does not need glasses or other viewing devices, it is spatially accurate, and it allows multiple spectators at the same time. Because of that, IV is said to be a suitable imaging method for use in clinical situation. However, IV rendering process, the process of creating IV image from a 3D data, is a computationally heavy process. It was not possible to render IV images in real-time manner. [Purpose] In this paper, we proposed a Graphic Processing Unit(GPU)-accelerated IV rendering method to realize real-time IV rendering. [Method] We implemented volume rendering based on ray-tracing method on NVIDIA Compute Unified Device Architecture(CUDA). We used CUDA-compatible NVIDIA GeForce 8800 GTX as the GPU. [Results] We compared IV rendering performances on CUDA compared to that on CPU(Pentium D 3.2 GHz). Rendering time was calculated for both architectures for various 3D data sizes. IV rendering average frame rate using GPU was 77, 40, 14, 2.9 [fps] compared to 4.2, 1.6, 0.3, 0.04 [fps] using CPU respectively for data size of 64^3 , 128^3 , 256^3 , 512^3 [voxels]. GPU-accelerated IV rendering using CUDA outperformed CPU rendering by scale factor of 18 to 77 times for the data size tested. It was also observed that the bigger the data size, the higher the scale factor. [Conclusion] Using GPU-accelerated IV rendering, we were able to realize real-time IV rendering. Applying real-time IV rendering on various IV surgery navigation system applications is our future plan in image-guided surgery.

Keywords – Integral Videography, volume rendering, GPU, CUDA.

GPU-accelerated Real-time 3D Ultrasound Integral Videography Visualization System

Nicholas Herlambang¹, Hongen Liao², Kiyoshi Matsumiya¹,
Ken Masamune¹, Takeyoshi Dohi¹

¹*Graduate School of Information Science and Technology,*

²*Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo, Tokyo, Japan*

nicholas@atire.t.u-tokyo.ac.jp

[Introduction] Among various imaging modalities, 3D ultrasound is the only imaging modality that is able to acquire 3D data in real-time manner. However, 3D data that was acquired in real-time manner are usually visualized on 2D display. This can lead to misperception due to lack of depth information, especially for organ with fast movement such as beating heart. This problem can be solved using 3D display instead of 2D display for visualization. We have built 3D stereoscopic imaging method using the principle of Integral Videography(IV). We previously developed the prototype of 3D ultrasound IV visualizing system with IV image frame rate of about 2 fps. This prototype system still lacks frame rate and user interactivity. In this paper, we present a real-time 3D ultrasound IV visualization system with GPU acceleration, including real-time user interactivity during data visualization that allows user to change the position and orientation of the 3D data on-the-fly. [Methods] We used trans-vaginal 3D ultrasound probe with data acquisition rate of 5 volumes/s. Coordinate transformation and median filter was applied before IV volume rendering. Coordinate transformation, median filtering, and IV volume rendering were implemented with GPU acceleration using Compute Unified Device Architecture (CUDA). User interactivity was realized by rendering repeatedly on the same data between 3D data readings using user-defined position and orientation. Each processing cycle consists of coordinate transformation, median filtering, and IV rendering. 3D data reading was performed by separate thread and therefore did not affect total processing time of one cycle, but contributed to time lag. [Results] We evaluated average processing time for each process. Average time for data reading was 60 ms, while those of coordinate transformation, median filtering, and IV rendering were 8, 13, 13 [ms] respectively. The average frame rate of the system was 29 fps, which is about 15 times faster than previous system. [Conclusion] We have developed a real-time IV visualization system for 3D ultrasound with. On-the-fly user interaction is also an improvement from previous system. Using this system for various surgery navigation systems is our future plan in image-guided surgery.

Keywords – Integral Videography, 3D ultrasound, GPU, CUDA.

三次元医用画像 Integral Videography の開発と応用

○廖洪恩¹⁾、ヘルランバン ニコラス²⁾、松宮潔²⁾、正宗賢²⁾、佐久間一郎¹⁾、千葉敏雄³⁾、土肥健純²⁾

- 1) 東京大学大学院工学系研究科
- 2) 東京大学大学院情報理工学系研究科
- 3) 国立成育医療センター 特殊診療部

人体に対し低侵襲な治療を実現するためには、健常部位にはなんら影響を及ぼさず病変組織のみを選択的に治療する低侵襲標的診断治療技術の開発が求められている。医用画像において、体内患部や治療過程を正確な三次元画像で表示し、患者に優しい新しい低侵襲治療環境を実現することが重要課題である。従来の手術誘導用画像は二次元ディスプレイに表示され、術者がこれを参照するためには術野から目を離す必要があり、円滑な手術操作が妨げられる。また画像の三次元位置情報は、一旦二次元にされた後に観察者の頭の中で再構成されるため、三次元位置情報の把握が直感的ではない。そのため、患部に関する画像情報をより客観的に提示できる三次元表示システムへの要求が高まっている。本報では、特殊な眼鏡や視点追跡を用いることなく、同時に複数の観察者がディスプレイ前の広い範囲から裸眼で、かつ自由な姿勢で三次元像を観察することが可能となる歪みのない三次元医用画像 Integral Videography (IV) および関連技術を紹介する。さらに、術中治療支援のため、三次元超音波画像処理を用いたインタラクティブな三次元 IV 画像手術支援システムを提案し、その開発状況について報告する。