

シミュレーション天文学のこれまでとこれから -ハードウェア・アプリケーション・サイエンス-  
2023年9月4日(月)

# コンピュータの中の宇宙 宇宙の中のコンピュータ

千葉大学 工学研究院  
(電気電子工学コース)

伊藤智義

# タイトルについて

第4回開高健ノンフィクション賞最終候補作品  
(2006年)

【原題】

コンピューターの中の宇宙、宇宙の中のコンピューター  
— 世界最速シミュレーションへの挑戦 —

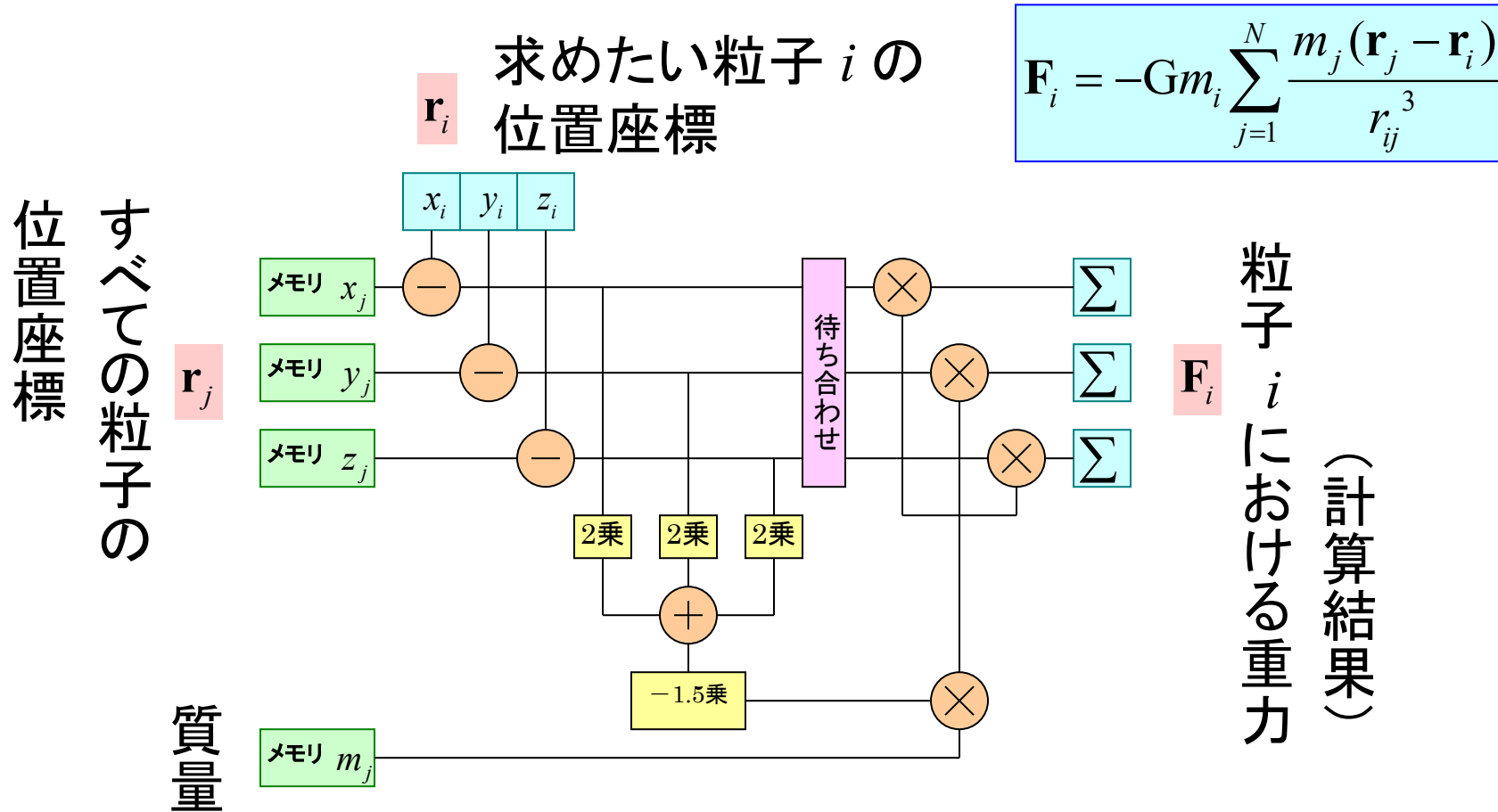


# 研究者への道のり

- 1978年 高校入学後、結核発覚 入院 → 休学(10月)
  - 理論天文学に憧れ、独学で勉強を始める
  - 科学者になるには東大にいかなければ...(という思い込み)
- 1983年 一浪を経て、合格
- 1989年 進振りで降年、4年生で留年を経て、大学院杉本研究室合格
  - 教養学部基礎科学科第一 (駒場)
  - 大学院総合文化研究科広域科学専攻 (駒場)



# 重力計算パイプライン (GRAvity PipE)



# なんだか簡単そうだな...

- 簡単そうに思えたことの重要性
  - 研究に取りかかる(心理的な)障壁が低い
  - 躊躇することなく、研究開発が進められる
- 専門家がない環境
  - 前例がない → 自由な発想が許される
  - 成功すれば◎、失敗しても仕方がない

# コンピュータを作るには？

- 授業科目「電子工学」を担当していた先生（桜井捷海教授）に相談
  - テーブルを引けばいいじゃん
  - テーブル？
  - 重力計算を一覧表にして、星の位置を入れたら答えが出てくるようにすればいいんじゃないの？
  - (心の中で)そんなに簡単にできたら、誰も苦労しませんよう～
- ◎ 科目名からコンピュータの専門家だと思って聞きに行ったのですが、レーザー物理が専門で計算機の仕組みについてはよくわからないとのことでした...

それでも、大きなヒントに！？

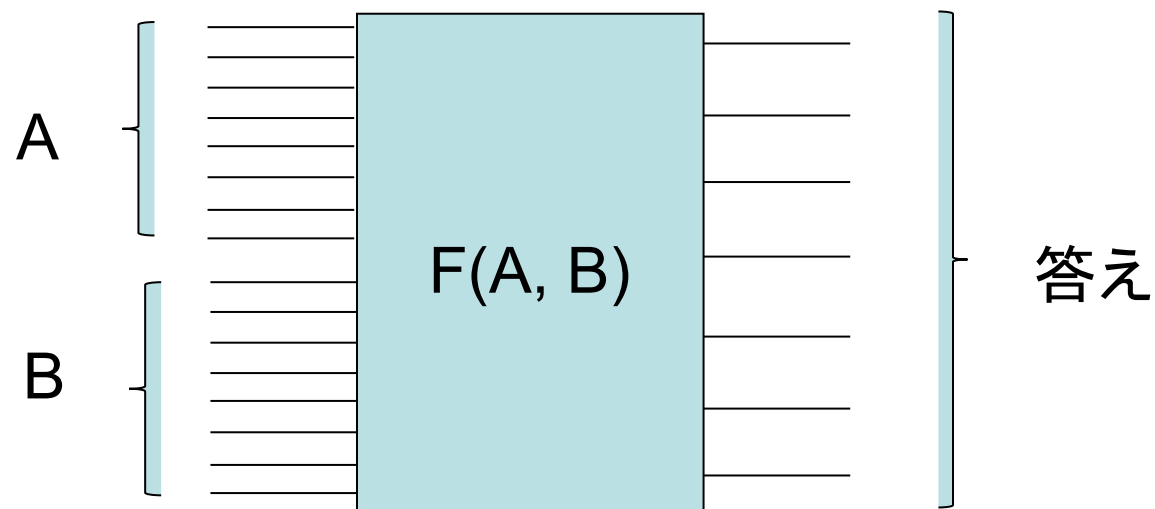
# 素人大学生が考えたメモリベースコンピュータ

- メモリICを演算ICの代わりに使う
  - 重力計算の式をそのまま1個のメモリICに入れるのは無理
  - 演算ごとにメモリICを配置すれば簡単(複雑な計算も解決)
- メモリIC(テーブル参照法)は速い
  - 1回の処理(1クロック)で答えが出る

まずは動くモノをつくる！



# メモリIC (ROM、RAM)



32bitや64bitのテーブルは作れないが、8bitであればどんな複雑な関数でもOK！

8bit精度はコンピュータといえるのか？ → 銀河の計算では使える

(研究) 自分の対象が高速にできればOK → 銀河計算専用のスーパーコンピュータへ

(参考) グーグルがAIチップTPUを8bit精度で作製・発表して以来、  
低精度コンピューティングは急速に普及 (詳しくはPFNのご発表で？)

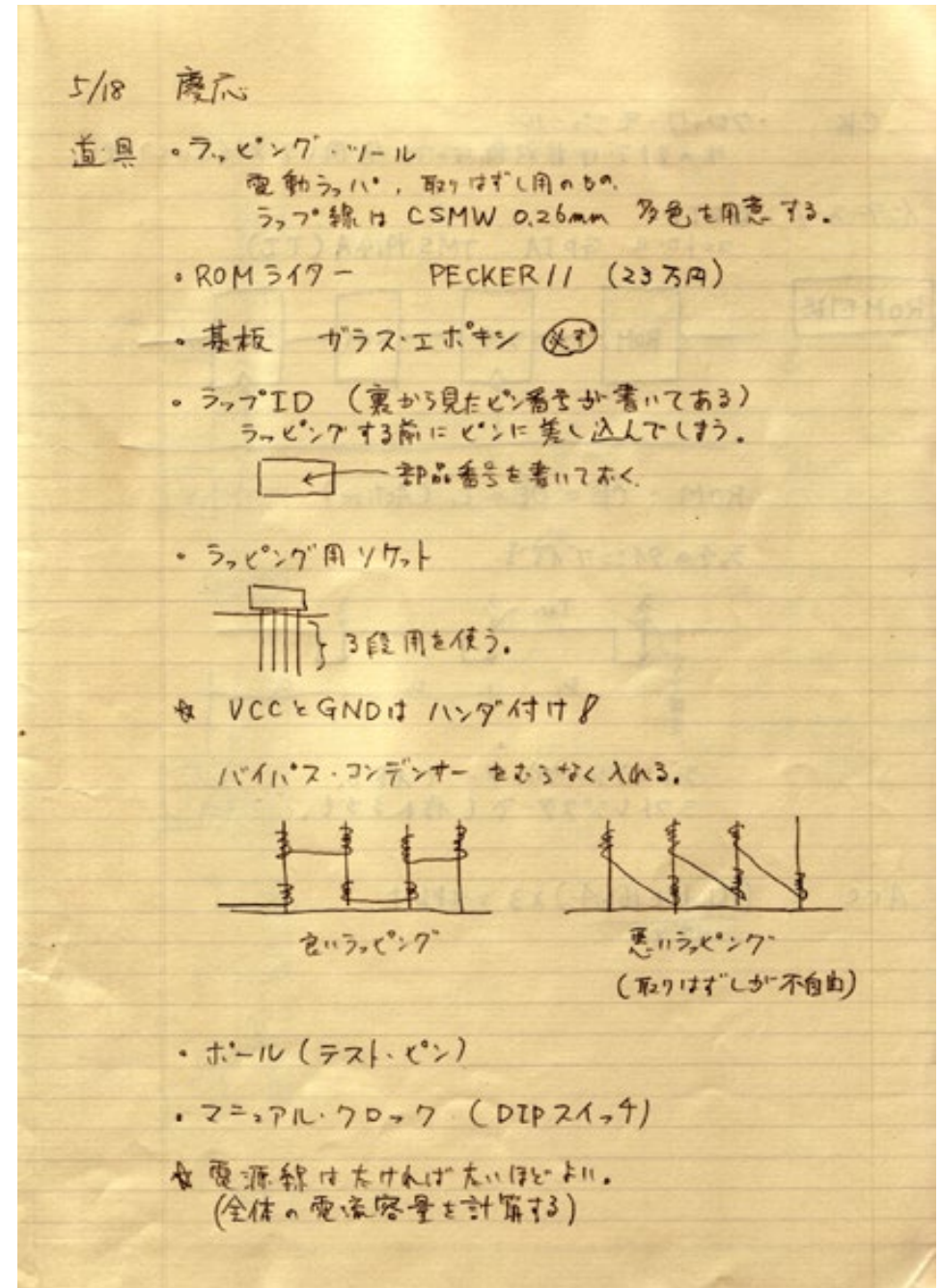


# 専門家のチェック

## 朴泰祐 助手(慶大)

(現・筑波大教授)

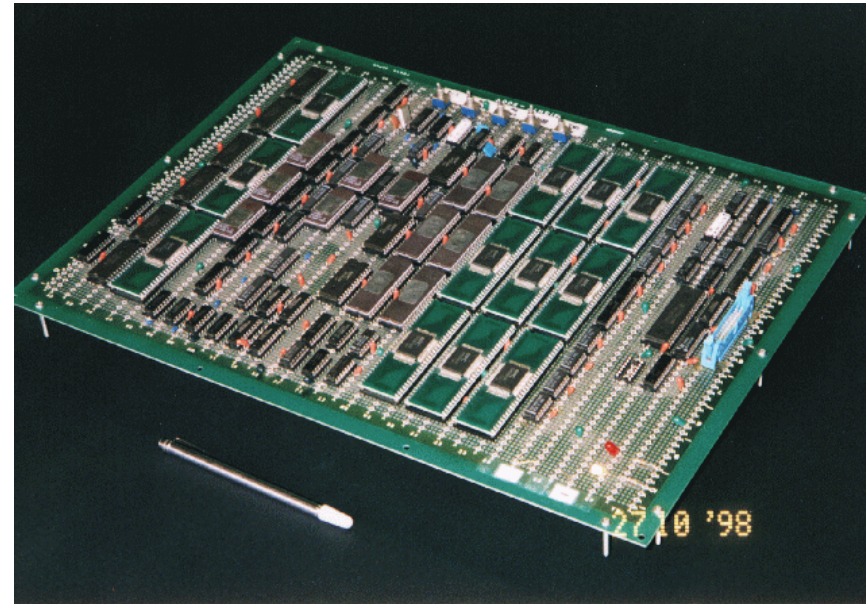
- 一喝 → 回路図は紙で書かない  
– CADを使う
- 丁寧にチェック → OK!
- 回路開発基本をレクチャ





# 手作りスーパーコンピュータ GRAPE-1

- 1989年9月完成
- IC総数97個
- 製作費20万円
- 1秒間に2.4億回の演算  
(初期のスパコンに匹敵)

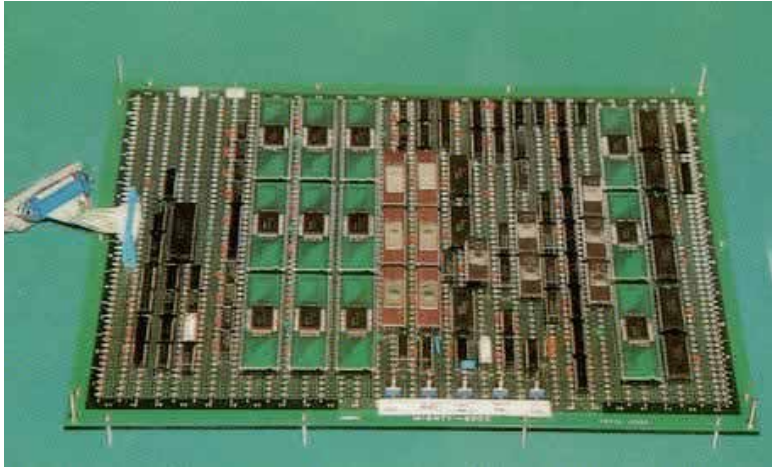


Nature (1990)

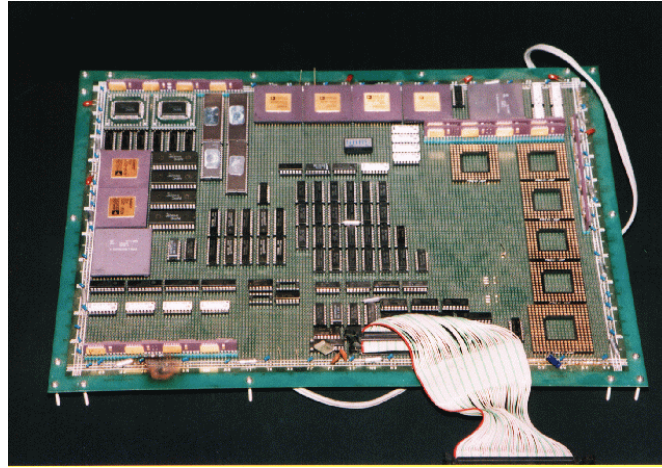
# GRAPE-1システム



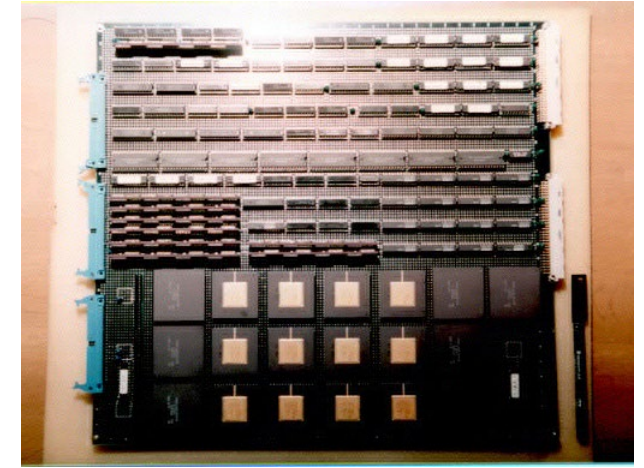
# 大学院生 → 大学教員



低精度型GRAPE-1  
修士1年(1989)



高精度GRAPE-2  
修士2年(1990)

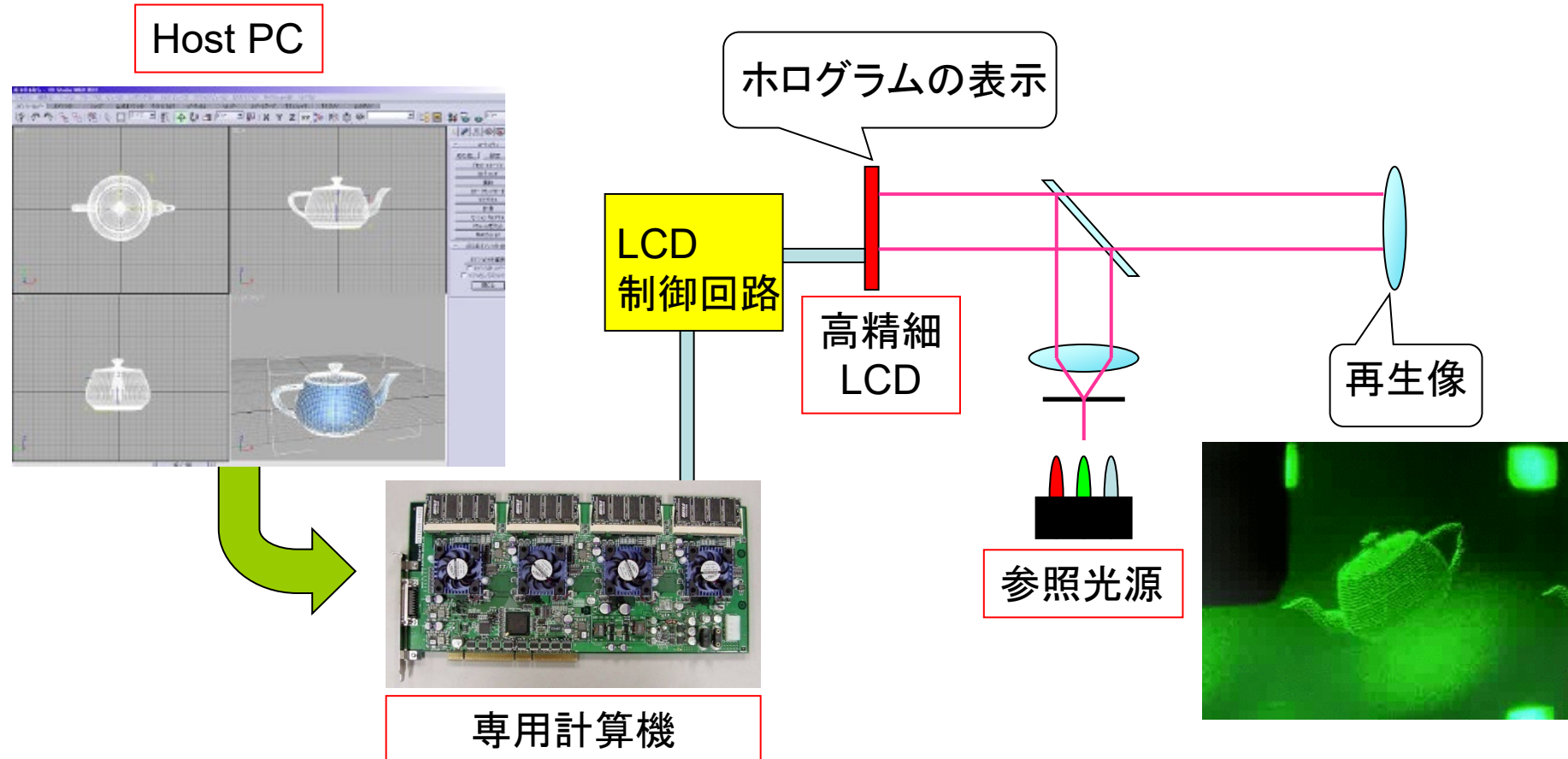


タンパク質シミュレーション用  
GRAPE-2A  
博士1年(1991)

- 1992年 群馬大学(電気電子工学科)から助手ポストのお誘い
- 1994年 助教授、研究室立ち上げ
- 1999年 千葉大学に異動

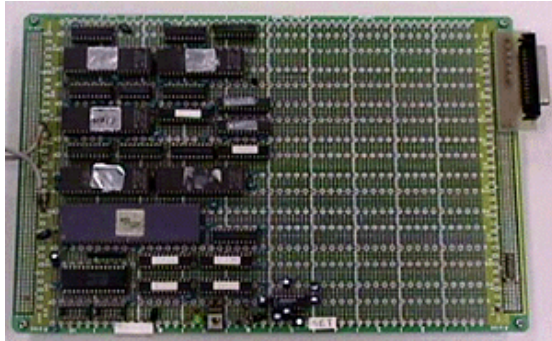


# ホログラフィ専用計算機HORNによる 3次元動画像システム(立体テレビ)

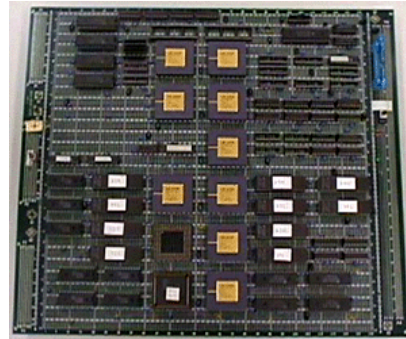


1. ホスト計算機上の  
三次元画像データを  
専用計算機に送信
2. 専用計算機により  
ホログラムの計算を行い  
LCDに表示
3. 光学系で三次元画像を  
空中に再生

# HORNプロジェクト (Holographic Reconstruction)



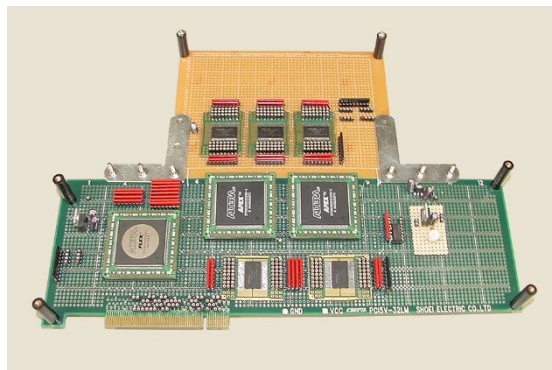
HORN-1 (1992)



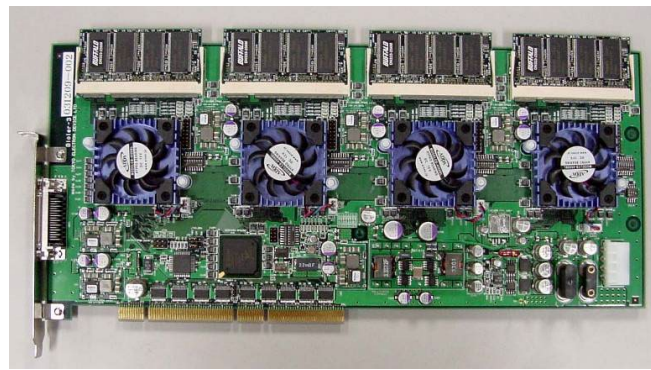
HORN-2 (1994)



HORN-3 (1998)



HORN-4 (2001)



HORN-5 (2004)



HORN-8 (2017)



# 25年の成果

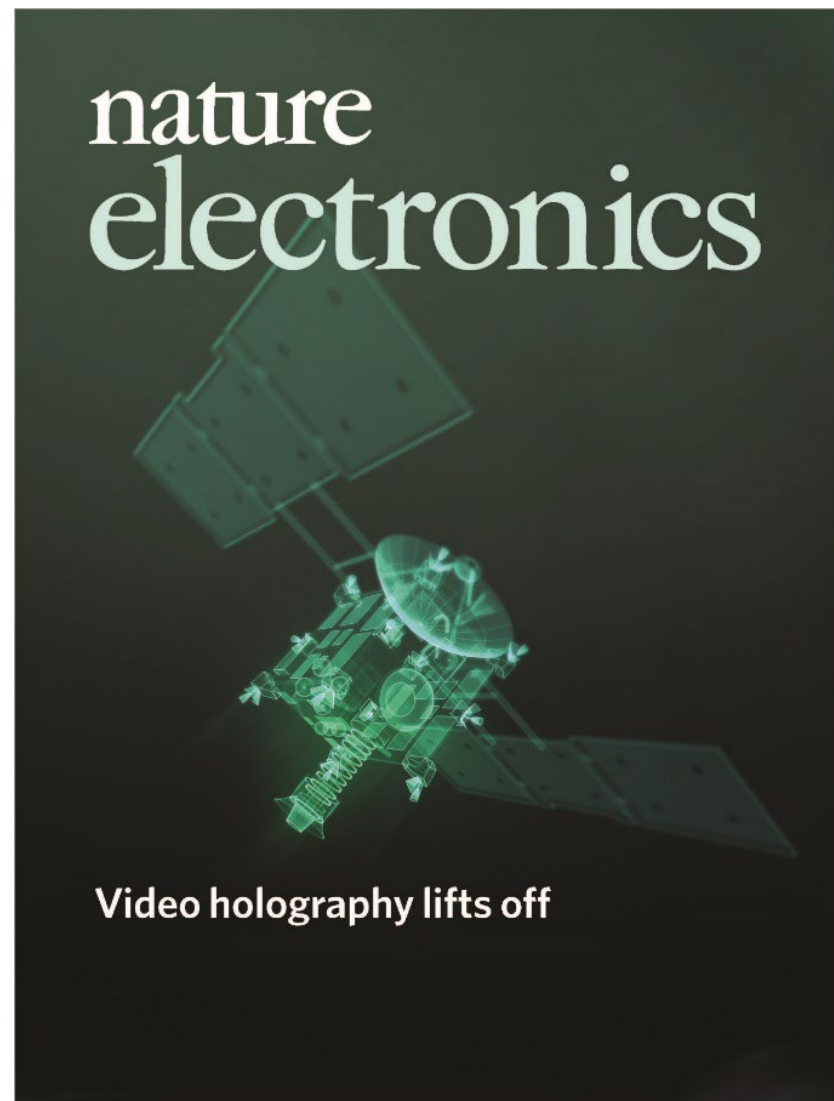


世界最大規模の電子ホログラフィ  
(リアルタイム動画再生)

物体点数: 40万

ホログラム画素数: 200万

Optics Express (2018年12月)



世界最大規模の電子ホログラフィ(静止画)

物体点数: 1,000万

ホログラム画素数: 1億

Nature Electronics 2018年4月号表紙

# 研究グループの成果

(卒業生14人がアカデミアで活躍)

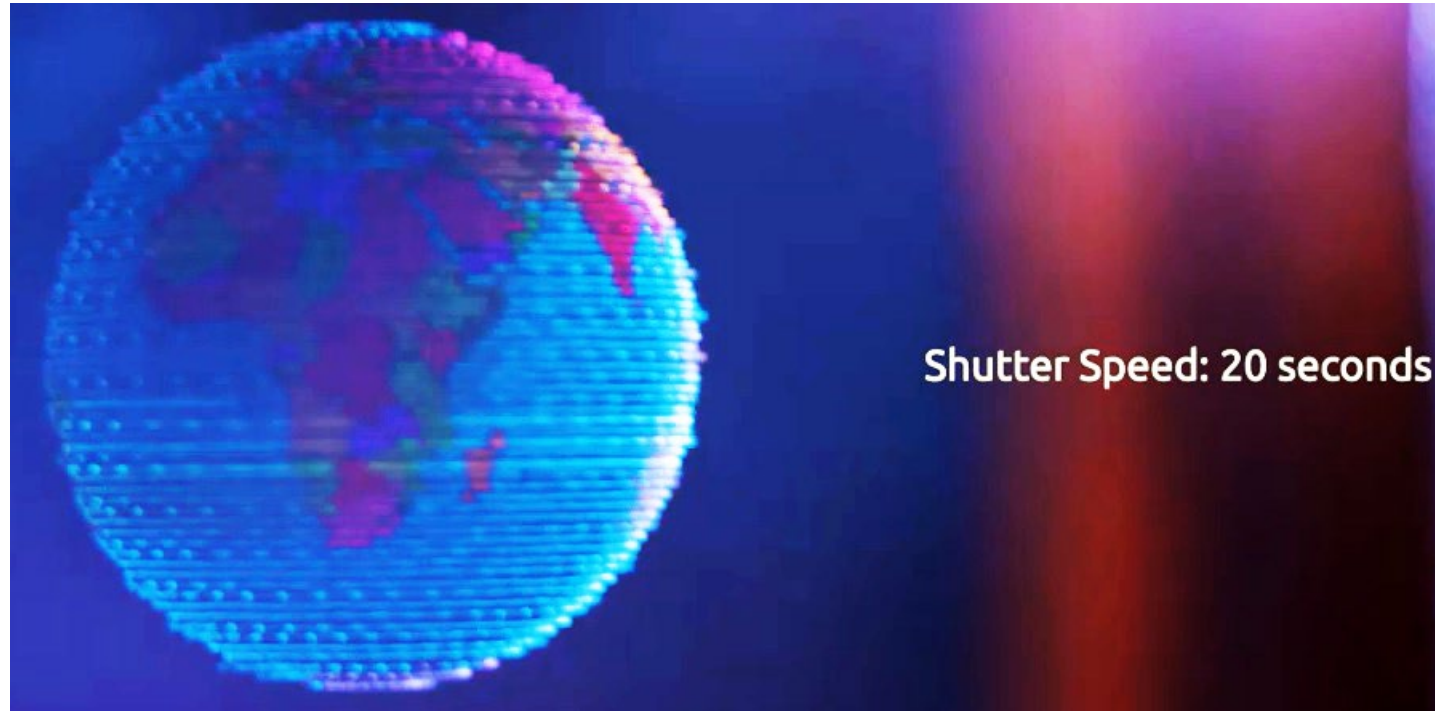
- ホログラフィ

- “High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging,” **Nature Electronics** (2018)
- “Dynamic complex opto-magnetic holography,” **Nature Communications** (2022)
- “A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping,” **Nature** (2019)
- “High-speed acoustic holography with arbitrary scattering objects,” **Science Advances** (2022)

- セルソーティングシステム

- “Probing the metabolic heterogeneity of live *Euglena gracilis* with stimulated Raman scattering microscopy,” **Nature Microbiology** (2016)
- “Intelligent Image-Activated Cell Sorting,” **Cell** (2018)
- “Raman image-activated cell sorting,” **Nature Communications** (2020)

# 音響ホログラフィ(平山竜士講師:UCL)



R. Hirayama *et al.*, "A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping,"  
Nature (2019) <https://ryujihirayama.github.io/web/>

ご静聴、ありがとうございました。