

第20回ビジュアライゼーションカンファレンス(11/7) 可視化情報学会主催
於 タイム24ビル(東京都江東区青梅)

バーチャルリアリティ技術が切り開く プラズマ物理・核融合プラズマ研究

大谷寛明

核融合科学研究所

Contents

- ◆ 核融合科学研究所の紹介
- ◆ プラズマと可視化
- ◆ VR装置 CompleXcope
- ◆ 可視化の例
 - ◆ シミュレーション結果と実験観測データ, 実験装置の同時VR可視化
 - ◆ 時系列シミュレーションデータのVR可視化
 - ◆ ECHマイターバンド中のミリ波伝搬
- ◆ まとめ

謝辞

◆ NIFS

- ◆ 石黒静児
- ◆ 藤堂 泰
- ◆ 中村浩章
- ◆ 宇佐見俊介
- ◆ 高山有道
- ◆ 沼波政倫
- ◆ 伊藤篤史

- ◆ 庄司 主
- ◆ 下妻 隆
- ◆ 高橋裕己
- ◆ 久保 伸

◆ 兵庫県立大

- ◆ 大野暢亮
- ◆ 甲南大
- ◆ 田村祐一
- ◆ 神戸大
- ◆ 陰山 聡

◆ 名古屋大学

- ◆ 渡邊智彦
- ◆ 加島直弥

核融合科学研究所

土岐市

National Institute for Fusion Science (NIFS)

<http://www.nifs.ac.jp>

- 核融合プラズマに関する学理とその応用の研究を推進することを目的に、1989年に設立された文部科学省の大学共同利用機関(現在は大学共同利用機関法人 自然科学研究機構に参画)



約47万m² (ナゴヤドーム3.9個分)



プラズマと可視化

プラズマの温度

オーロラ

1000°C



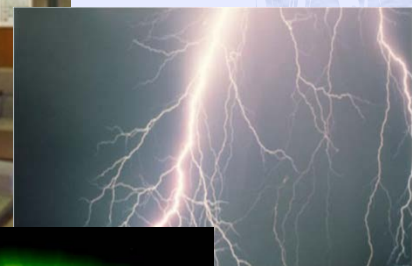
蛍光灯

1万°C



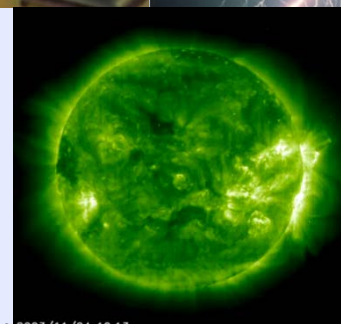
稲妻

10万°C



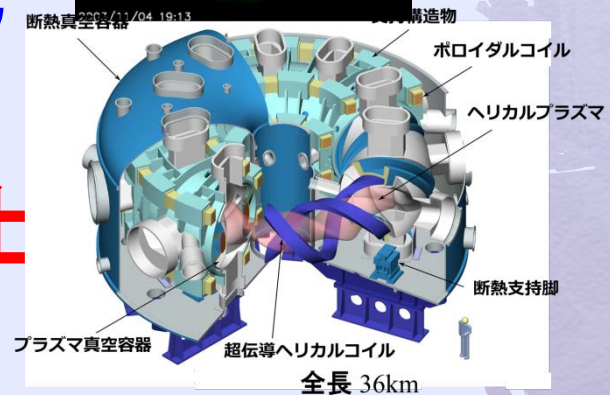
太陽中心

1600万°C



核融合プラズマ

1億°C以上



核融合プラズマの密度

核融合プラズマ： 10^{20} 個/ m^3 = 10^{14} 個/ cm^3 = 100兆個/cc

水分子：1mol(18g) 6.02×10^{23} 個 22.4l

6.02×10^{23} 個/ $(22.4 \times 10^3)cm^3 \cong 3 \times 10^{20}$ 個/ cm^3

つまり6桁小さい

100万分の1の密度

核融合を起こすには？

原子核どうしの衝突



電氣的反発力(クーロン力)の障壁



超高速での衝突が必要 **温度**



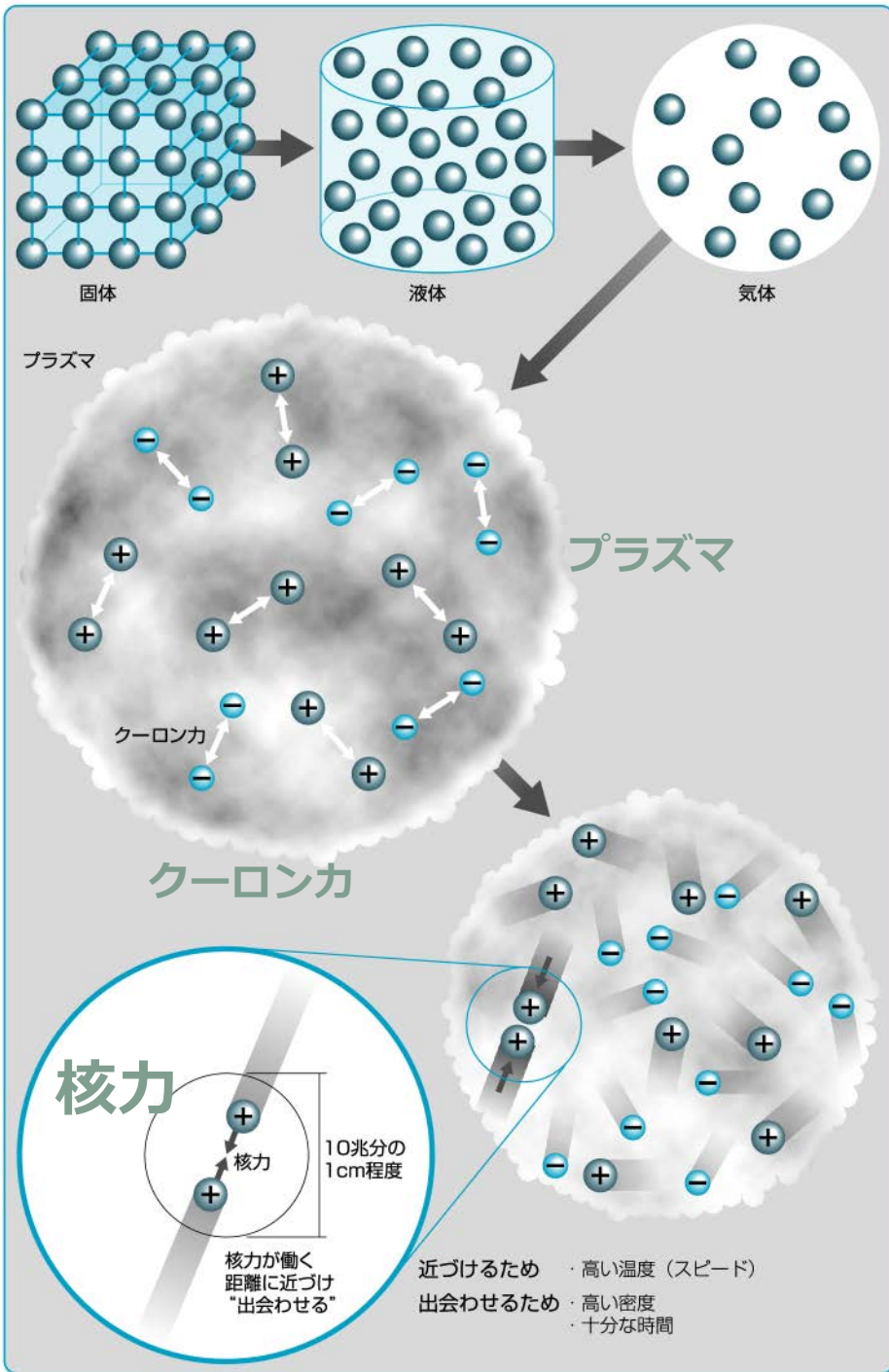
出会う頻度(確率)をあげる **密度**



**高温・高密度プラズマを
十分長い時間作っておく**

(1億度、100兆個/cc、1秒)

**1億度の水素イオンの速度：
約1000km/s**



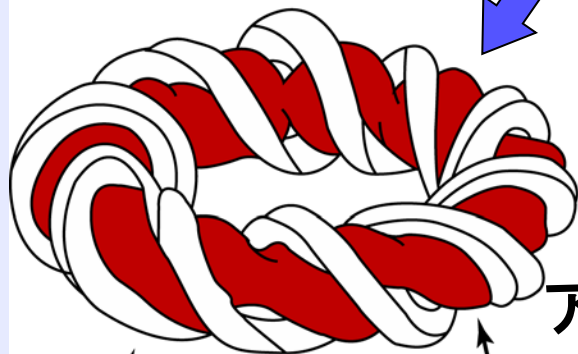
磁場閉じ込め方式

磁力線をねじってドーナツ型の磁力線の容器を作る

ドーナツ状の
プラズマ

核融合科学研究所、
京都大学など

●ヘリカル型



ヘリカルコイル

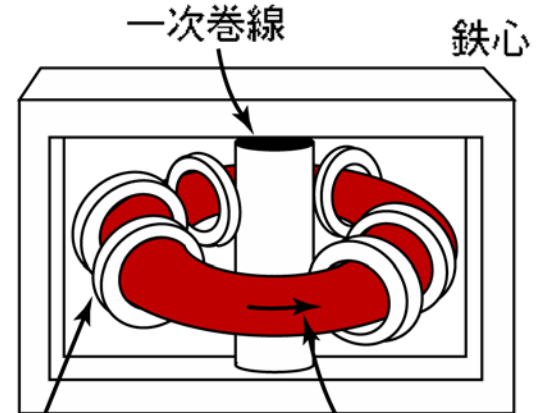
プラズマ

アンペールの法則

磁力線

日本原子力研究開
発機構、九州大学
など

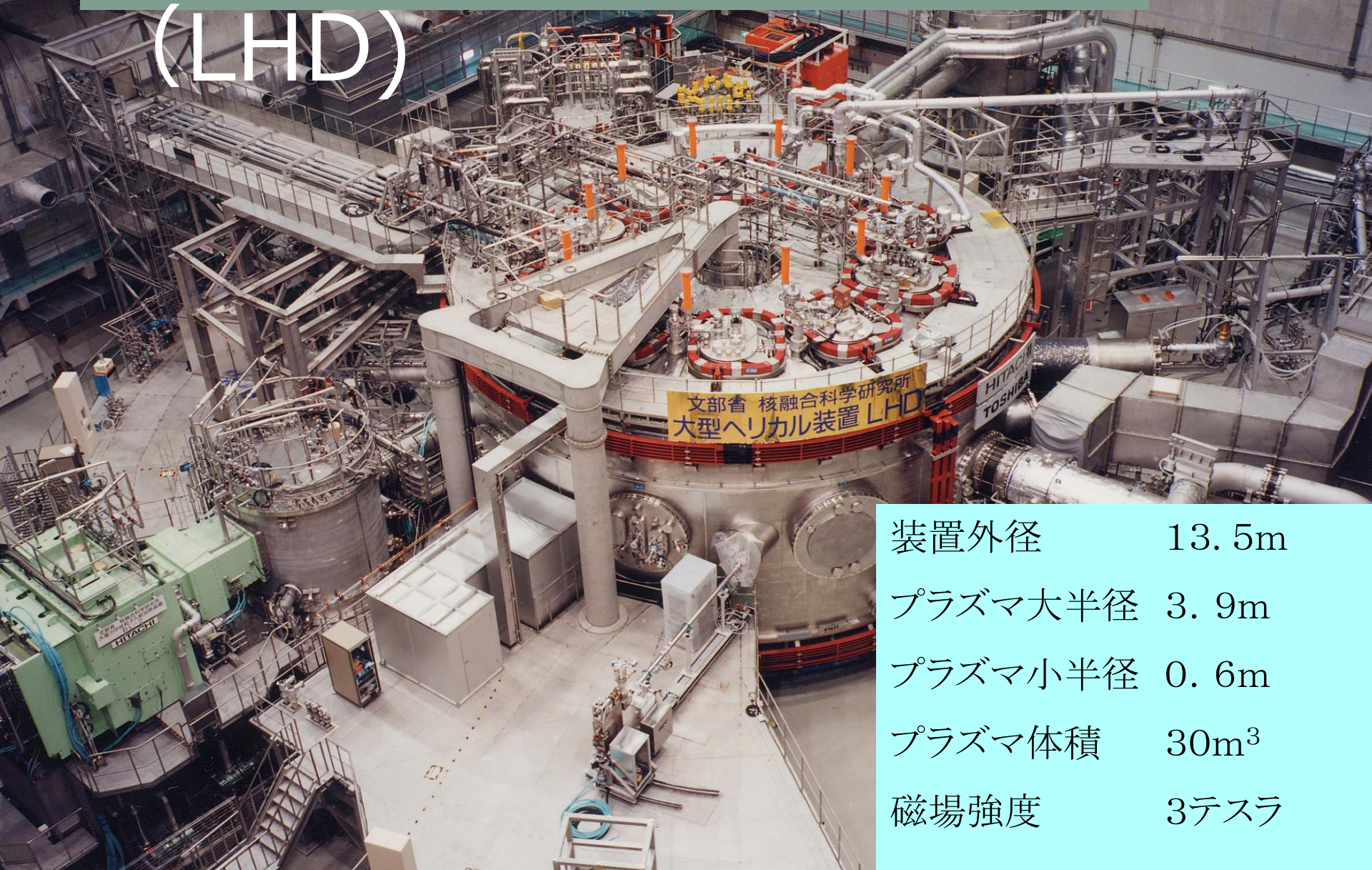
●トカマク型



トロイダル磁場
コイル

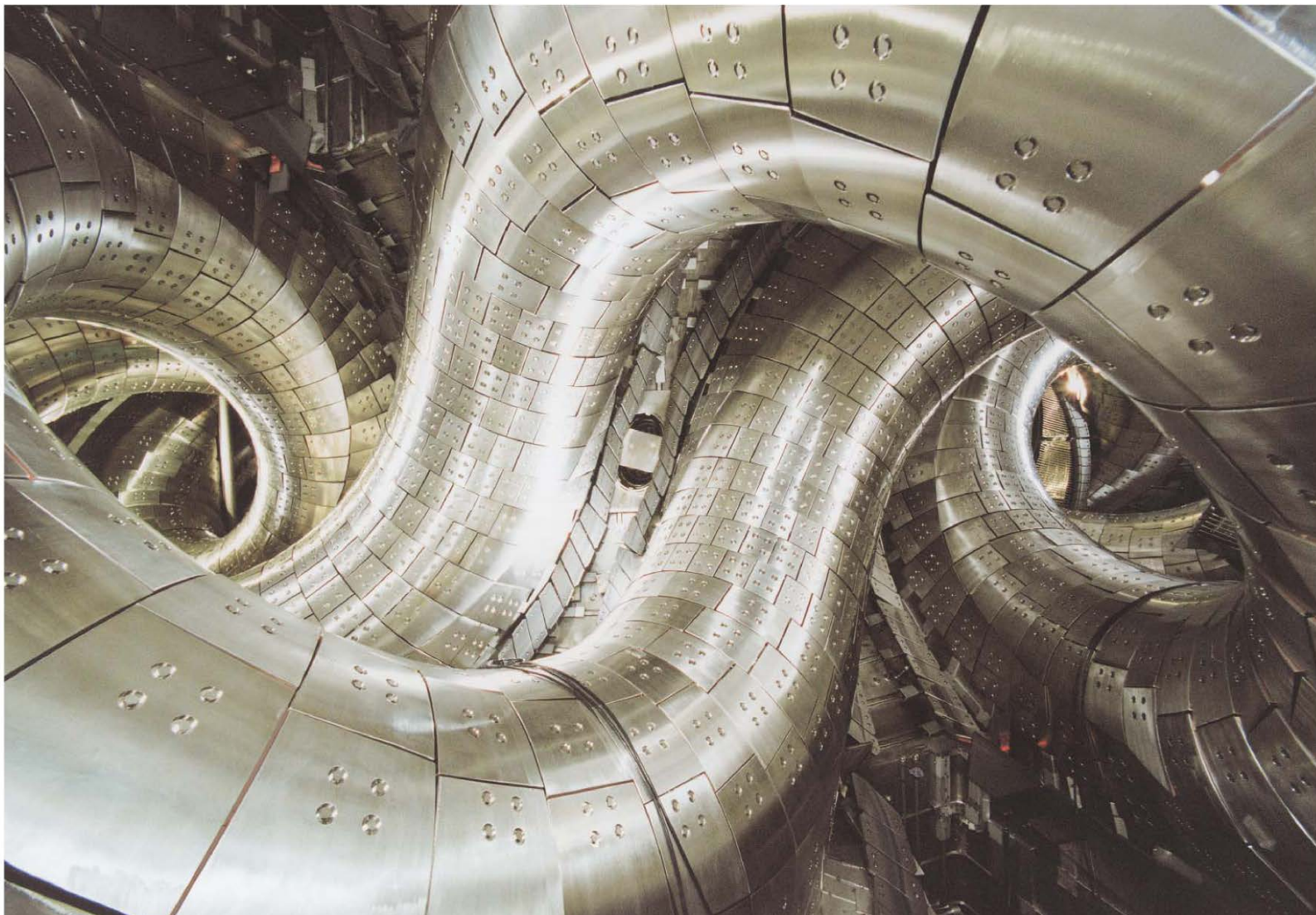
プラズマ電流

大型ヘリカル装置 (LHD)



装置外径	13.5m
プラズマ大半径	3.9m
プラズマ小半径	0.6m
プラズマ体積	30m ³
磁場強度	3テスラ

大型超伝導ヘリカル装置 (LHD)



プラズマを閉じ込める磁場は定常的に作られる

NIFSのスーパーコンピュータ

$K:10^3, M:10^6, G:10^9, T:10^{12}, P:10^{15}$

スーパーテクニカルサーバ 日立SR16000モデルM1

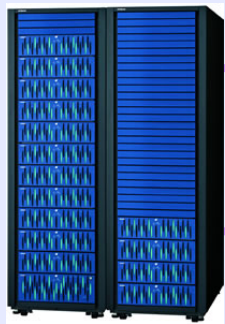
ノード間ネットワーク: 96GB/s(片方向) × 2
(内訳)

大規模並列型計算サーバ:

322ノード(315TFLOPS、総主記憶容量40.25TB)
主記憶容量128GB/ノード、コアあたり4GB)

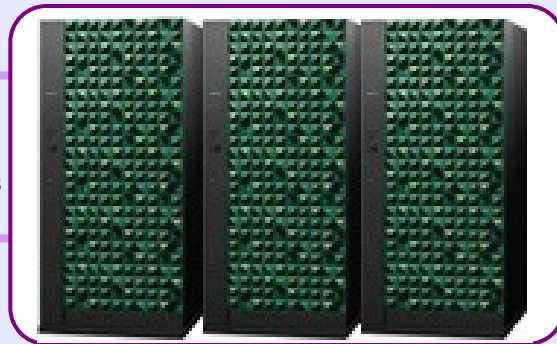
フロントシステム: 1ノード(32コア)

データ解析サーバ: 2ノード(64コア) 主記憶容量256GB(コアあたり4GB)



(外部記憶装置)
AMS2300+AMS2500
総容量: 2PB

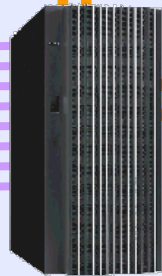
⋮
×48



(外部記憶装置)
AMS2300
総容量: 0.2PB



プログラム開発支援サーバ
SR16000モデルVL1 1ノード
POWER6 5.0GHz(64コア)、主記憶容量1TB
SR16000モデルL2 2ノード
主記憶容量 256GB/ノード
ノード間ネットワーク: 10GbE



可視化処理サーバ

HP DL585G7
(64コアOpteron6272)x2ノード
主記憶容量 128GB/ノード
(コアあたり2GB)

×4



ゲイトウェイ

to SNET

基盤コアサーバ

ファイアウォール

DNSサーバ

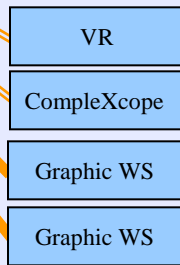
Webサーバ

NISサーバ

⋮
×20



ファイルサーバ
Hitachi Essential NAS Platform
/home領域: 5TB
(バックアップ実施)

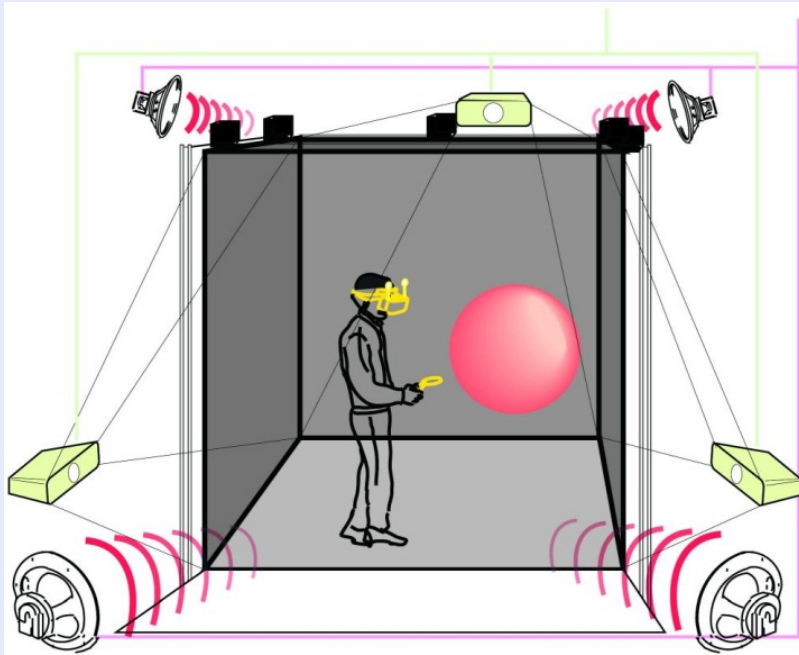


凡例

- Fibre Channel(400MB/s)
- 10Gbps Ethernet
- 1000Base-T
- 1000Base-SX

VR SYSTEM COMPLEXCOPE

Virtual Reality System 'CompleXcope ' (CAVE)



Room-size 4 screens
(Front, right, left
bottom)

⇒ Stereo view

⇒ Immersive view

Liquid crystal glasses

⇒ Stereo view

Tracking system

⇒ Interactive view



Flystick2(Wand)

(3-dimensional mouse)

⇒ Interactive view

When a viewer with liquid crystal glasses comes into the room, he is surrounded by 4 screens.

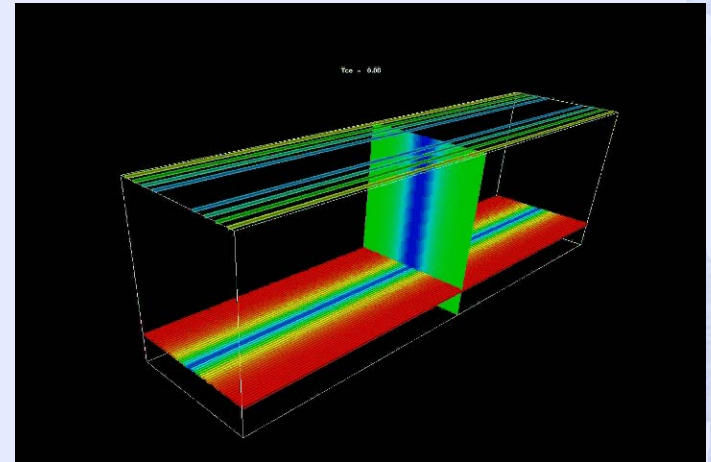
He can see the stereo and immersive view through the liquid crystal glasses.

When he moves his head, walks in the room or moves the object by Wand, the images on the screens are reconstructed rapidly according to his movement by tracking system.

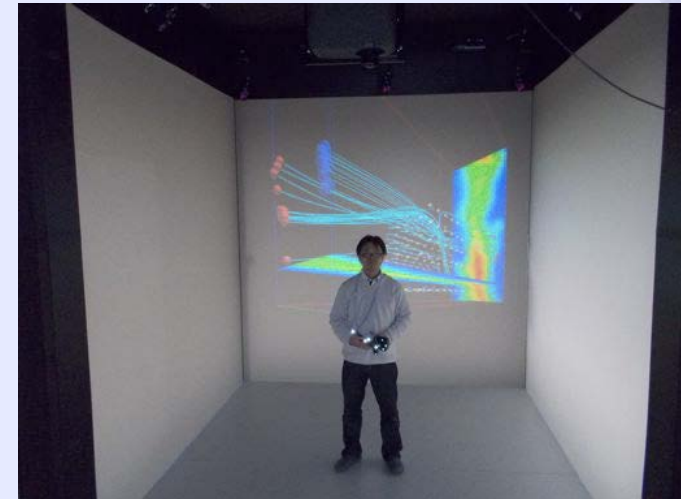
*Viewer feels himself being in the simulation model with **high immersive feeling**, explores the VR world, and he can watch the objects with any size and from any direction .*

Why do we use VR system?

- ◆ Computer technology : rapidly **advanced**.
- ◆ Simulation size : **larger and larger**.
- ◆ 3-dimensional/Large-scale simulation : commonly performed.
 - >Simulation results -> more complicated.
 - >Data size -> massive.
- ◆ Bringing out useful physical information from the massive and complex simulation data is a key issue.
- ◆ In projection on 2-dimensional display, it becomes difficult to grasp the relationship and shape of objects **because of the lack of information of depth**.
- ◆ More effective analysis method.



- ◆ ***Scientific Visualization by VR SYSTEM!***
 - ◆ ***Watch the 3D objects from any viewpoints with any size***
 - ◆ *Analysis of Complex Structures and dynamics (Vector fields, particle trajectory and so on) of plasmas in a really 3D space with a deep absorption*
- ◆ *The system helps us to understand a spatiotemporal complex plasma in the really 3D VR space..*



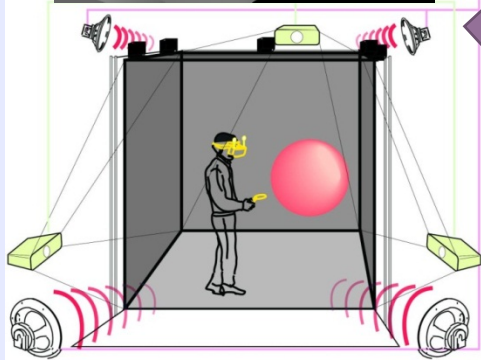
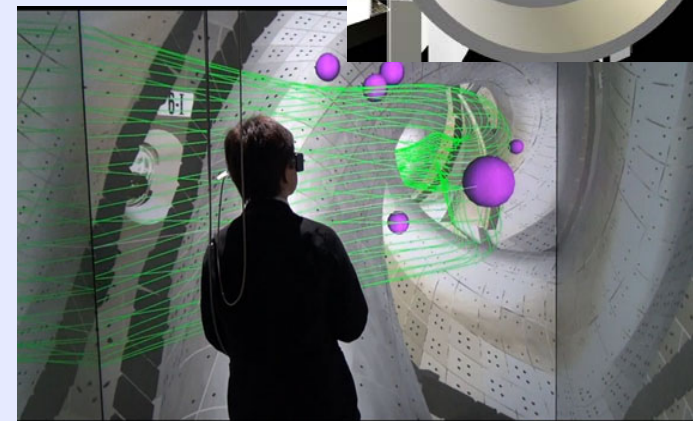
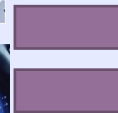
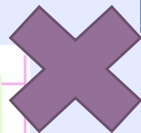
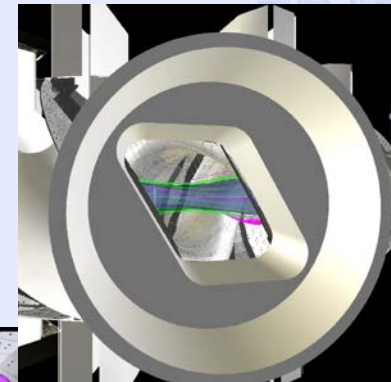
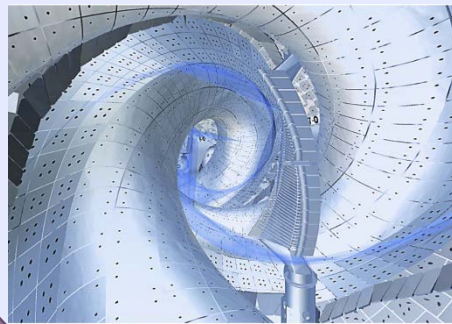
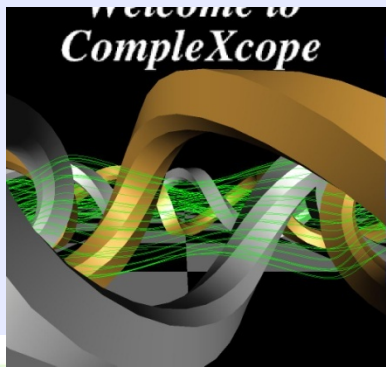


VR VISUALIZATION

1. INTEGRATED VR VISUALIZATION OF SIMULATION RESULTS, EXPERIMENTAL DATA AND DEVICE DATA

Simulation results in Experimental Device (Integrated VR Visualization)

- ◆ **Virtual-LHD** (Simulation data)
- ◆ **Virtools** (Experiment device by CAD data)
- ◆ **FusionVR** (Fusion of several visualization data)
 - ◆ H.Miyachi et al: IEEE Comp. Soc. (2005) 530.
 - ◆ H.Miyachi et al: IEEE Comp. Soc. (2007) 536.



H.Ohtani, et al : IEEE Transactions on plasma Science, 2011
H.Ohtani, et al: Plasma and Fusion Research, 2011

Trajectory of dust particles

- ◆ From the observation result, the typical dusts were transported along the magnetic-field lines, but some dusts moved radially across the lines with sharply curved trajectories.
- ◆ Recently, Shoji et al. investigated the function of the peripheral plasma in the LHD on transport of dusts by using a dust transport simulation code in a non-axisymmetric geometry. They showed that the transport of the dusts was dominated by the plasma flow in the peripheral plasma.

M. Shoji, et al.: Plasma Fusion Res. 9 (2014) 3403132.

Visualization of dust particles

- ◆ Interface reading the 3D position data of the dust particles
- ◆ A function visualizing the dust trajectory in VR space
 - ◆ Dust : point-sprite method
 - ◆ Trajectory: several different colored line
- ◆ Implementation to Virtual LHD.

Integrated VR visualization



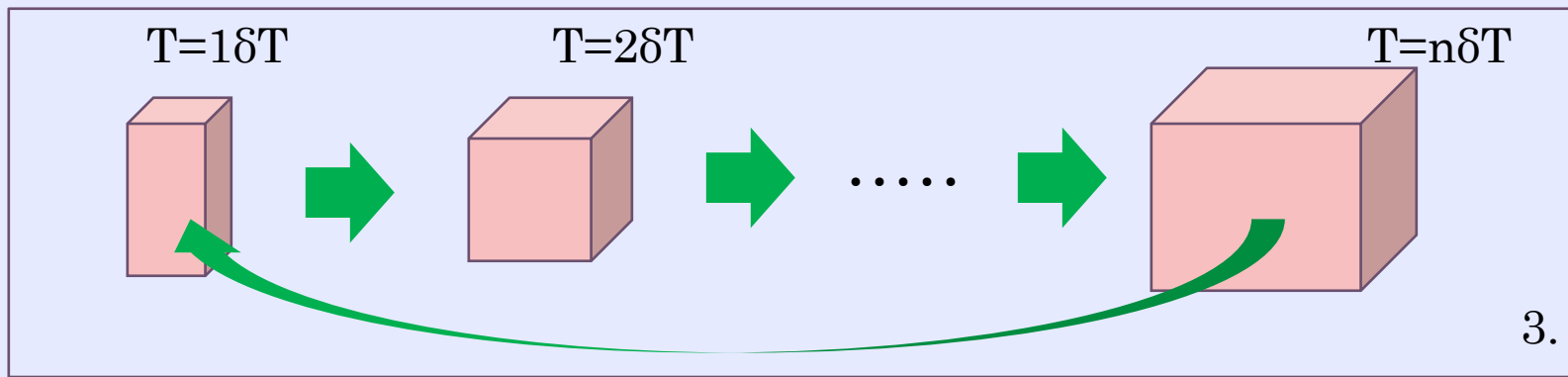
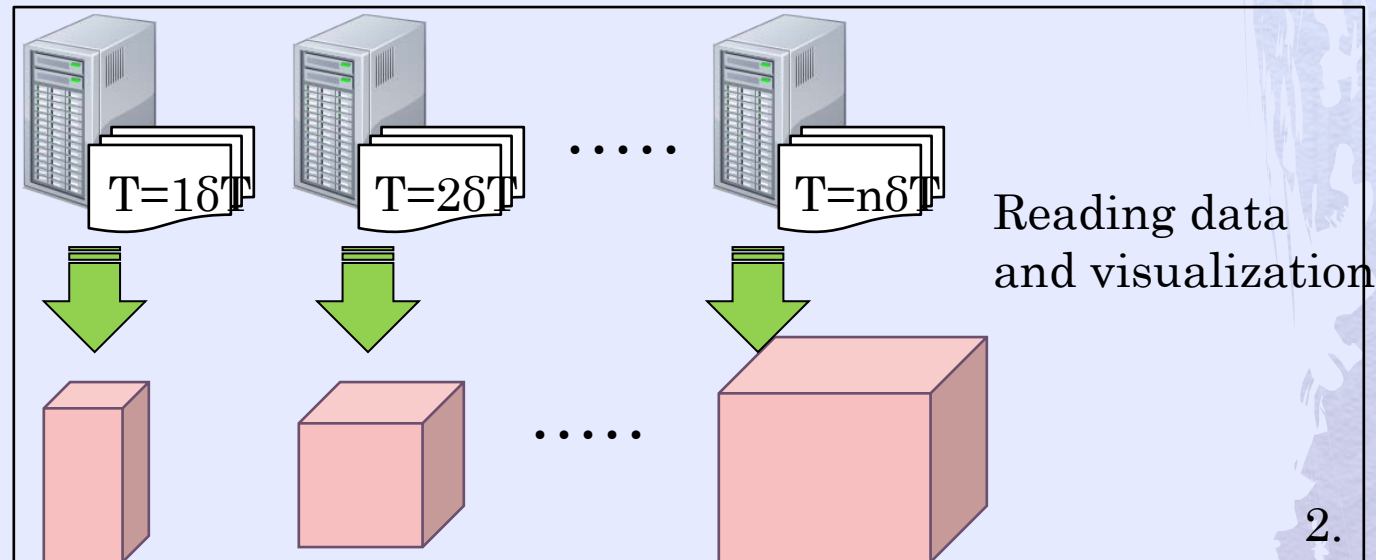
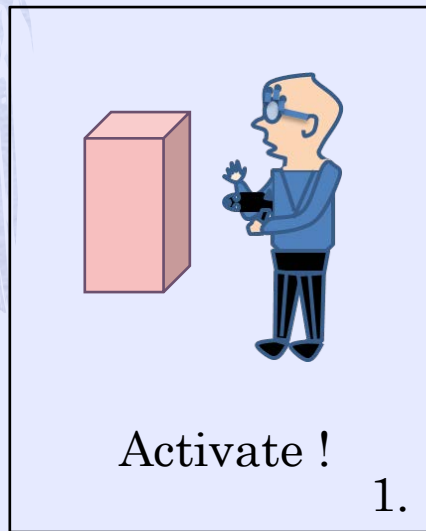
The background of the slide features a light blue, semi-transparent image of a VR headset and a hand holding a controller. The headset is on the left, and the hand is on the right, both appearing to be part of a larger, slightly faded scene. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on the VR theme.

VR VISUALIZATION

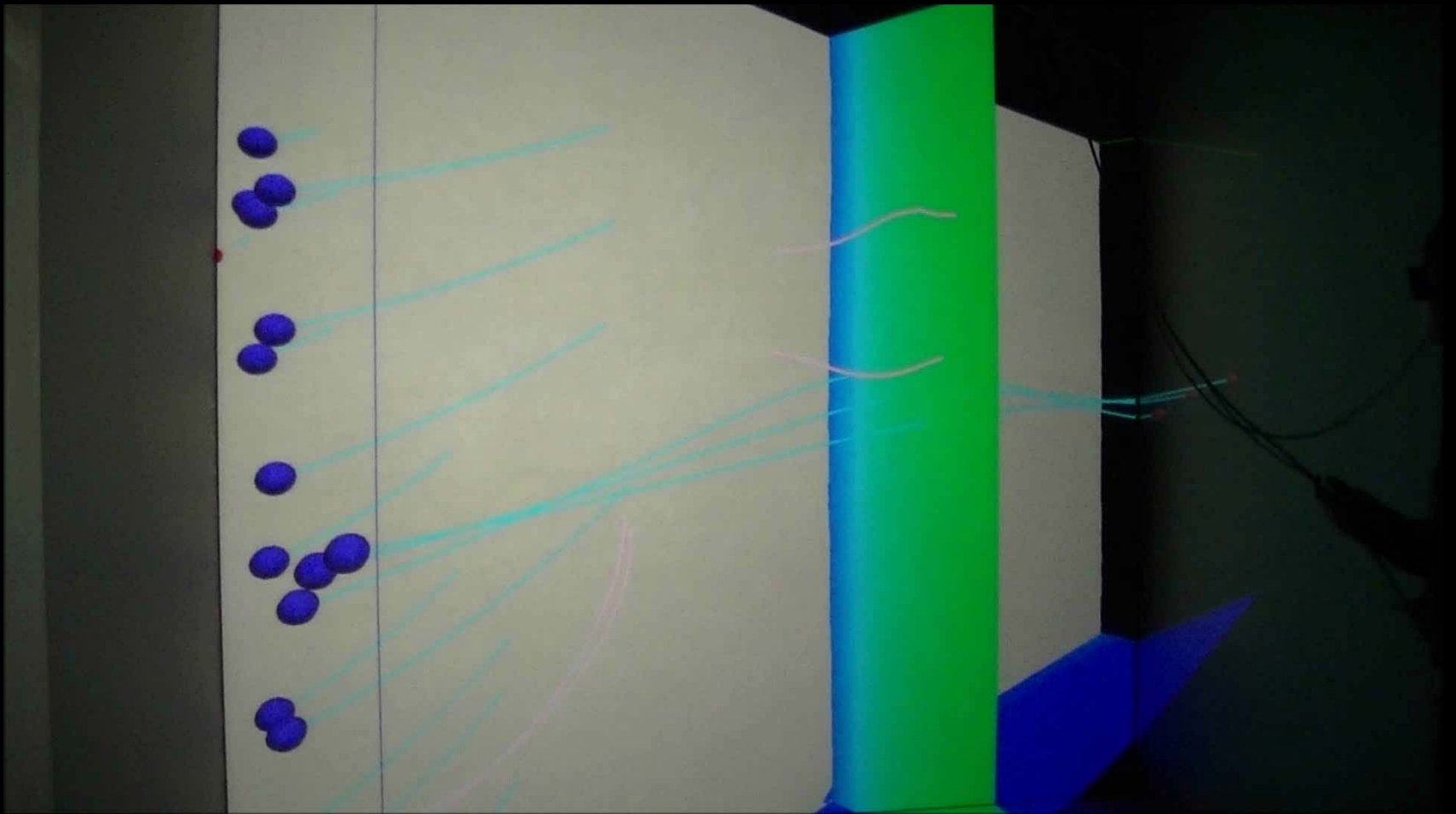
2. TIME-SEQUENTIAL SIMULATION DATA

Analysis environment of simulation results by VR system

- Animation function for time-sequence data (VFIVE)
 - N.Ohno, H.Ohtani, D.Matsuoka, R.Horiuchi: PFR 2012.



Time sequential data





VR VISUALIZATION

3. PROPAGATION OF MILLIMETER WAVES IN ECH MITER BEND

まとめ

- ◆ 複雑な構造や時間発展を示すプラズマの解析において可視化は重要な役割を果たす.
- ◆ 没入型VR装置による可視化は有効である.
 - ◆ ダスト粒子の可視化
 - ◆ 時系列シミュレーションデータの可視化
 - ◆ マイターベント内の電磁波伝搬の可視化
- ◆ 可視化による実験研究・共同研究の促進