

# インフラ診断を目的とした 後方散乱X線検査装置の開発

豊川弘之  
産総研 計測フロンティア研究部門  
小型量子ビーム源グループ



↑イメージですが・・・

# Contents

- イントロダクション（日本のインフラについて）
- 本研究の目的
- 後方散乱X線イメージングの例
- 産総研の実績（レーザーコンプトンガンマ線CT）
- シミュレーション#1（内部空洞の二次元画像）
- シミュレーション#2（内部空洞の深さ分布）
- まとめ

## 背景

- ◆ 今後20年の間に、建設後50年以上経過する施設が加速度的に増加。地方公共団体が管理する施設では、予算や人手不足などの理由から、点検が実施できない施設も多い。
- ◆ 国民が安心して日本の社会インフラを利用し続けるために、劣化や損傷を早く、確実に、簡便に計測して診断する次世代インフラ診断技術開発が必要。

＜道路構造物(トンネル・橋梁等)や道路附属物等の点検・緊急修繕＞



橋梁点検車を使った  
橋梁点検



近接目視による  
トンネル点検

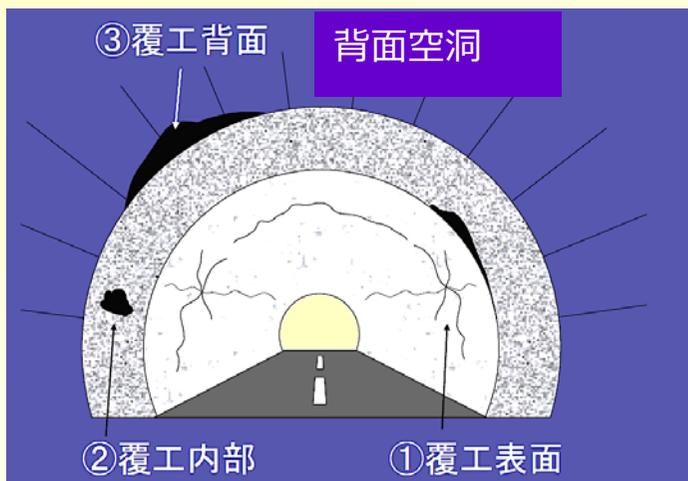


ひび割れ注入による補修



炭素繊維シートによる補修

2013年5月20日 社会資本メンテナンス戦略小委員会中間答申 (第6回社会資本メンテナンス戦略小委員会) より



道路橋(2m以上)	699,000橋 (60%は市町村管理)
鉄道橋	102,293橋
道路トンネル	10,300本
鉄道トンネル	4,737本

(市町村の実態)

道路トンネルの点検実施	39% (アンケート)
長寿命化修繕計画	79%
長寿命化修繕実施率	5%

トンネルにおける維持管理の現状、平成21年8月26日、第2回CAESAR講演会

- ◆ 厚さ数10cmのコンクリートで覆われたトンネル壁や背面空洞を、片側からのアクセスのみで非破壊検査する手法および装置を開発する。
- ◆ 高エネルギーX線による後方散乱イメージング
- ◆ 目標
  - 空間分解能：50 cm先で1 cm以下
  - 検査速度：1分／平方メートル



# AIST 市販の後方散乱X線イメージング装置 (AS&E)

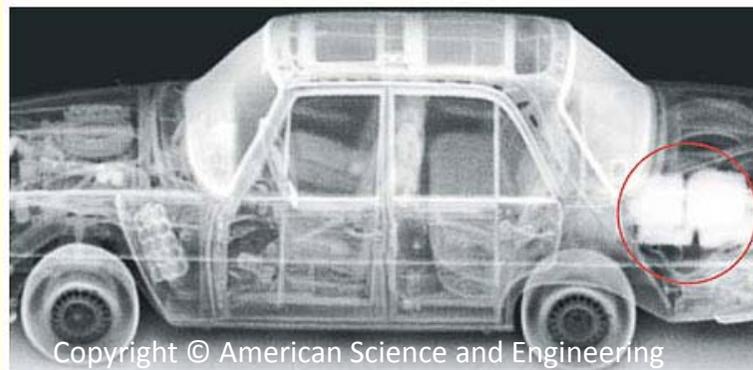


Copyright © American Science and Engineering

管電圧 225 kV



Copyright © American Science and Engineering



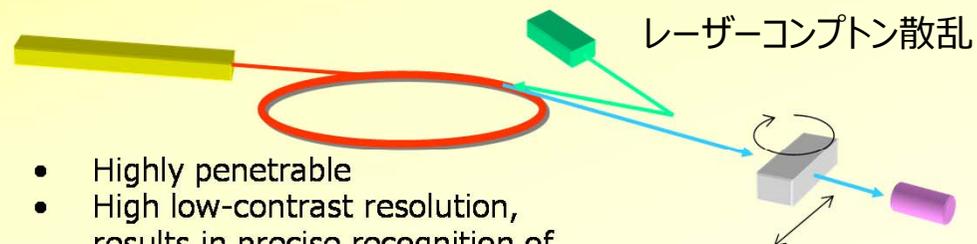
Copyright © American Science and Engineering



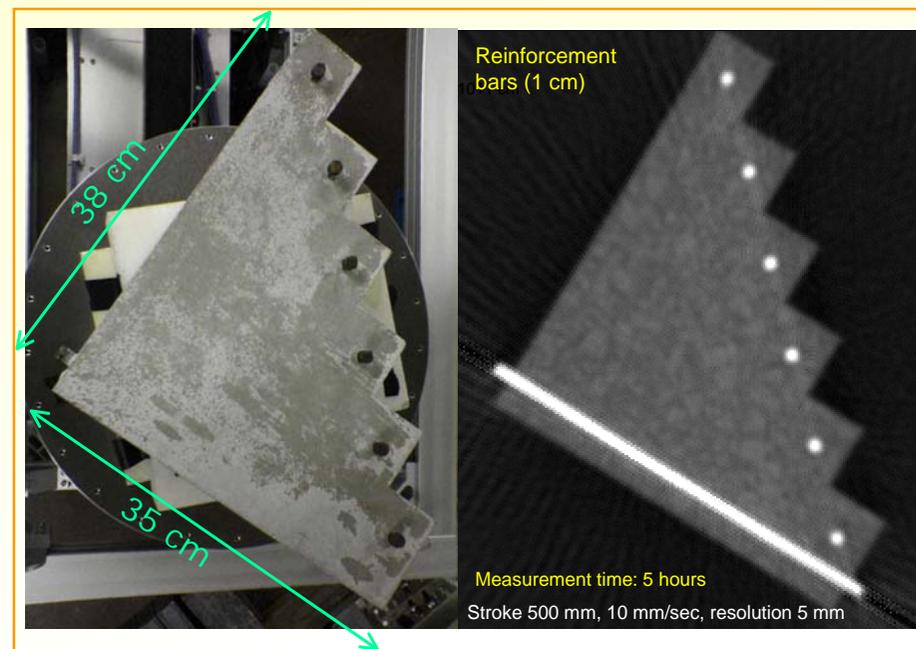
Copyright © American Science and Engineering



## 円形加速器を用いたX線（ガンマ線）CT装置



- Highly penetrable
- High low-contrast resolution, results in precise recognition of object shape, materials, and density
- High spatial resolution



H. Toyokawa et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 55 (2008) 3571.

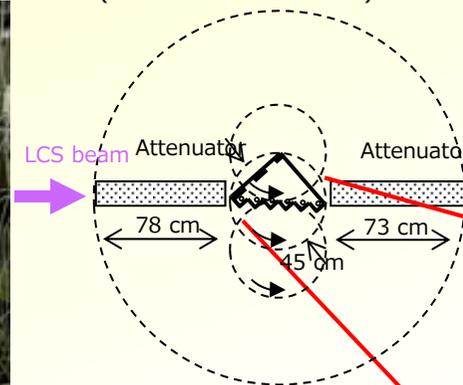


(Copyright © 2013 M. Irie All Right Reserved)

- ◆ 放射線障害防止法施行令 第九条第二項の一
- ◆ 『直線加速装置（原子力規制委員会が定めるエネルギーを超えるエネルギーを有する放射線を発生しないものに限る）』
- ◆ （用途）橋梁又は橋脚の非破壊検査』
- ◆ （条件）文部科学大臣が定めるエネルギー（4 MeV）



Specimen for bridge pier  
(196 cm in diameter)

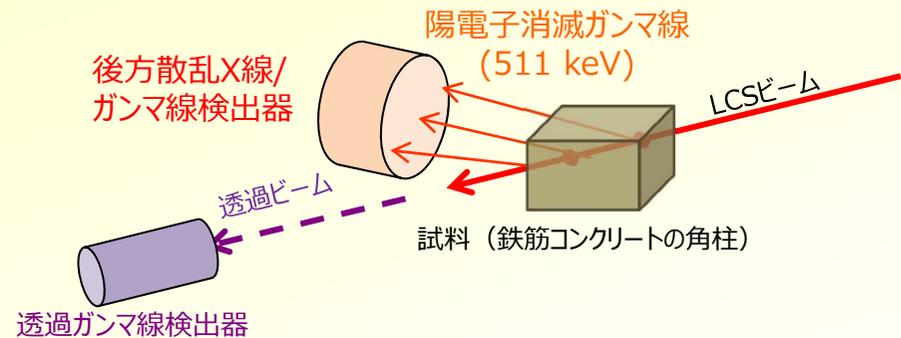
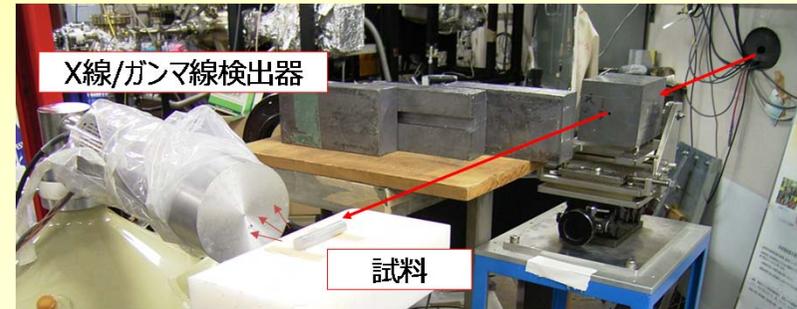
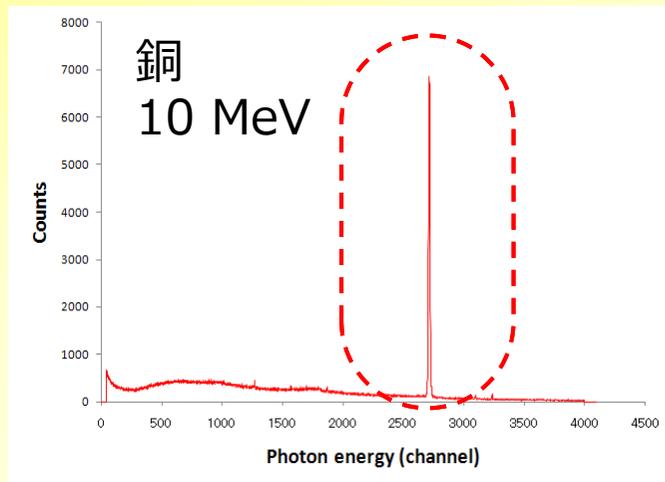


直径 2 m の鉄筋コンクリート柱  
(橋脚で最大寸法) の中心部断面をCTで測定。

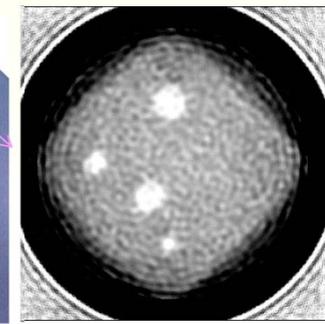
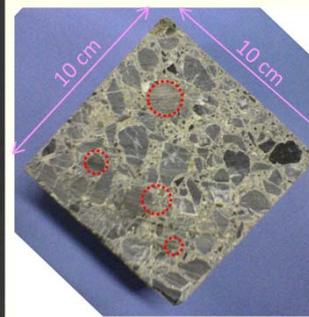
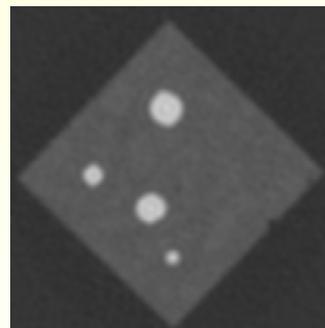


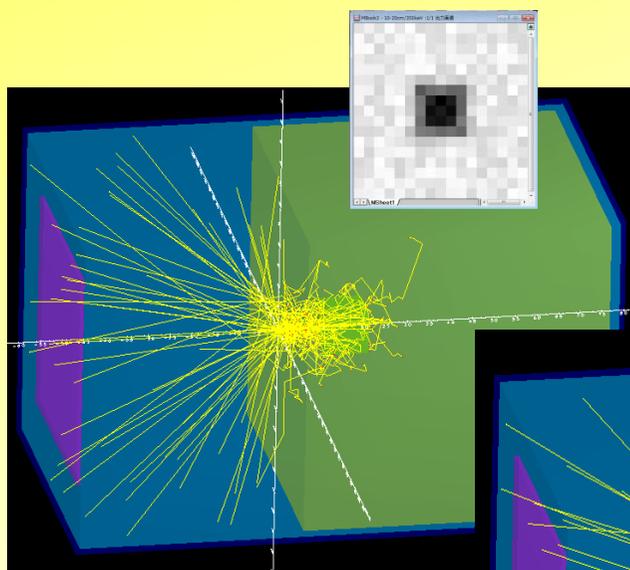
## LCSEビーム照射により、高強度の陽電子消滅ガンマ線が発生

吸収(光電効果): 0.1%  
コンプトン散乱: 45.4%  
電子・陽電子対生成: 54.5%

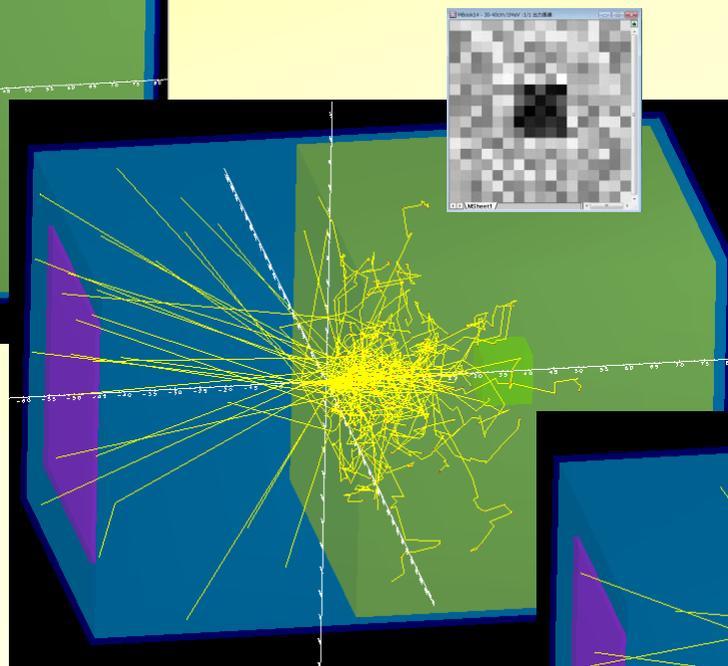


陽電子消滅ガンマ線 (後方散乱ガンマ線) を測定。CTで可視化した。

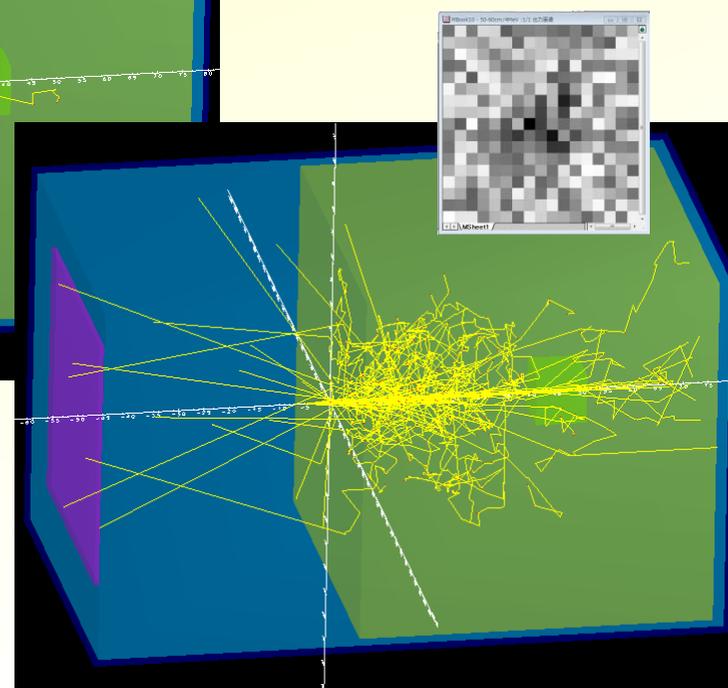




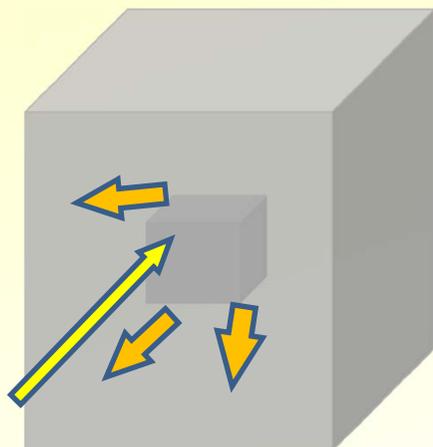
200keV, 深さ10cm



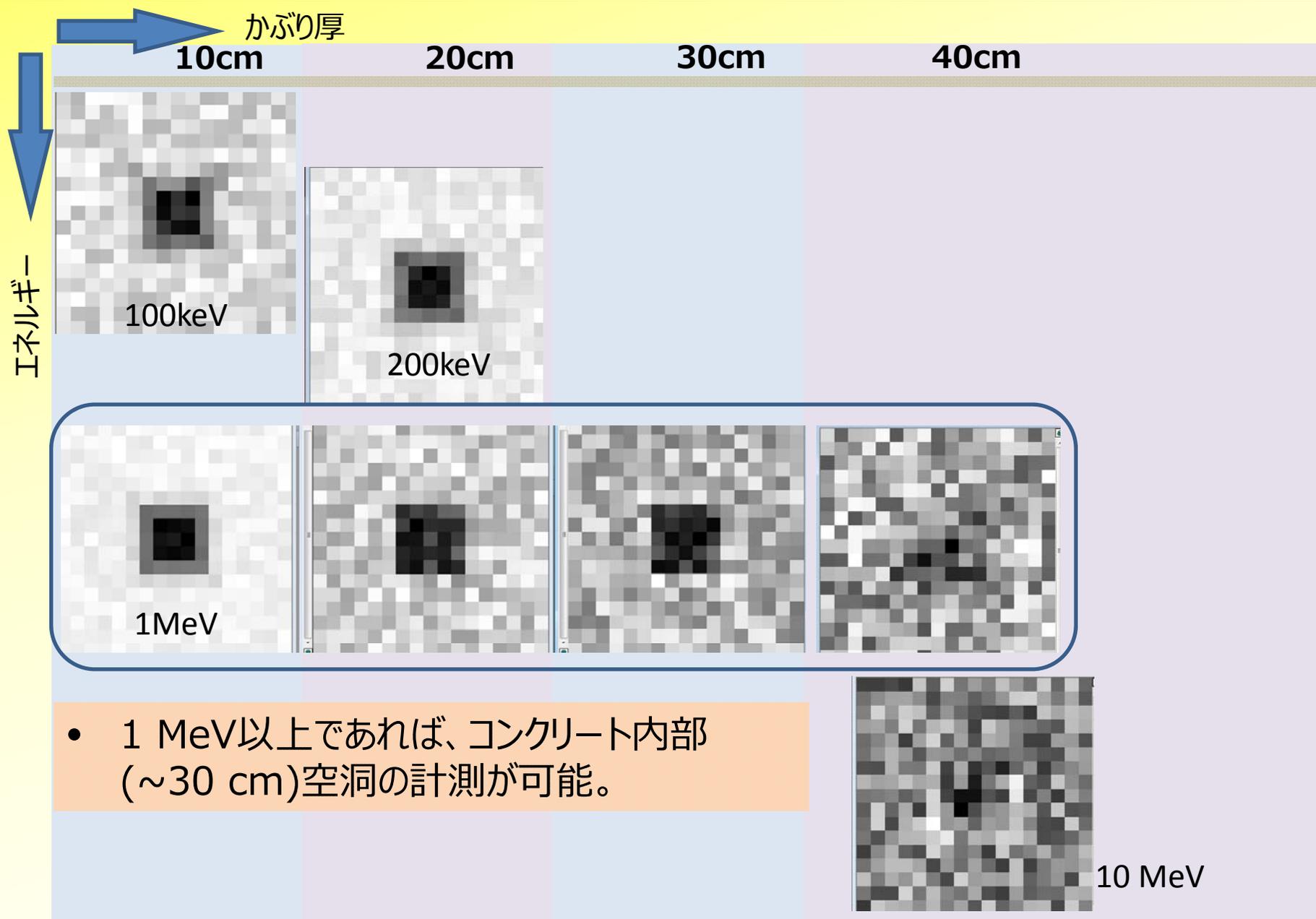
1MeV, 深さ30cm



4MeV, 深さ50cm



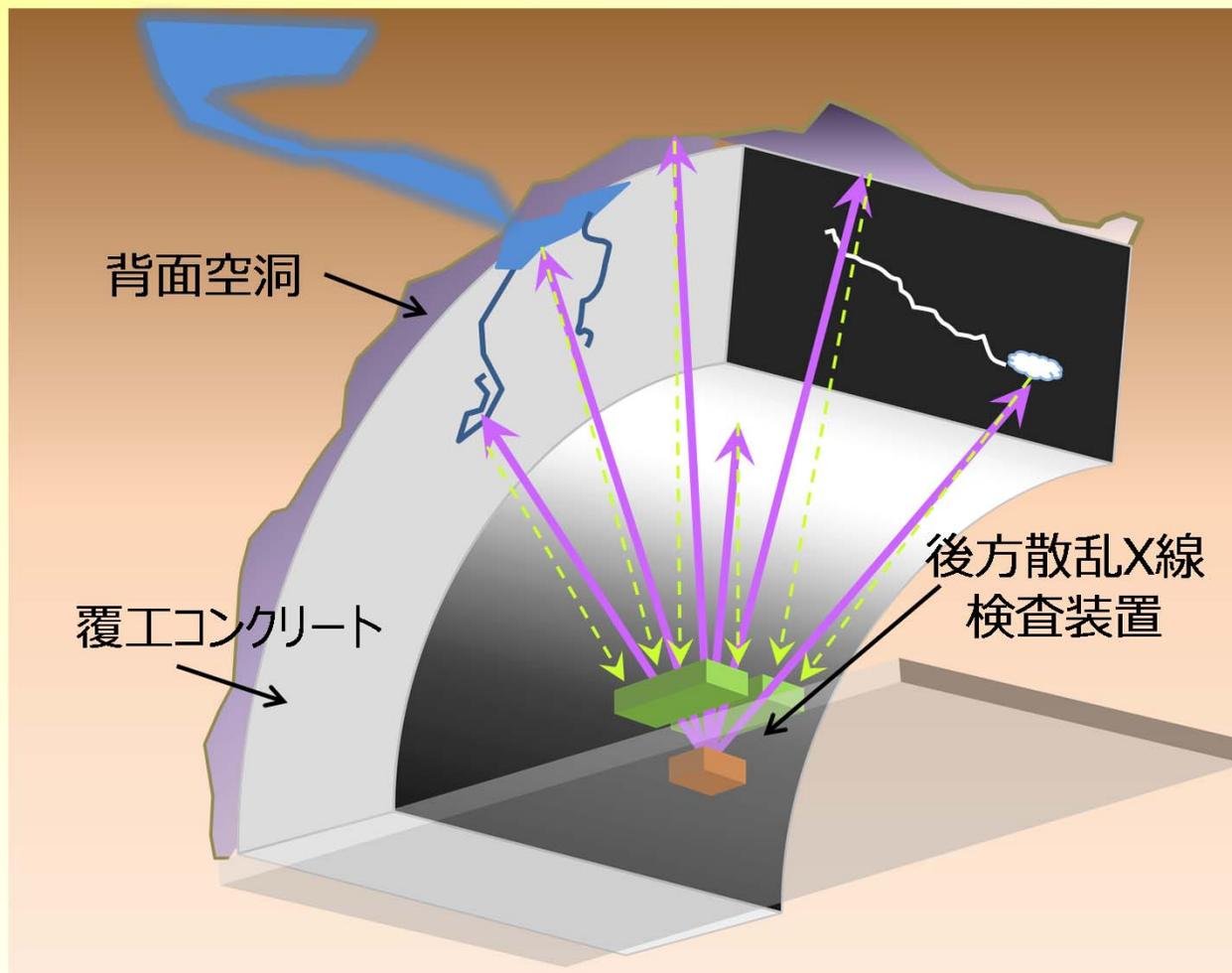
一辺が10cmの立方体形状の空洞を、深さを変えて配置。  
後方散乱X線強度を計算した。



- 1 MeV以上であれば、コンクリート内部 (~30 cm) 空洞の計測が可能。

高エネルギー・小型 X線源

後方散乱X線



## OVERVIEW



Single-sided image

Easy to read and interpret

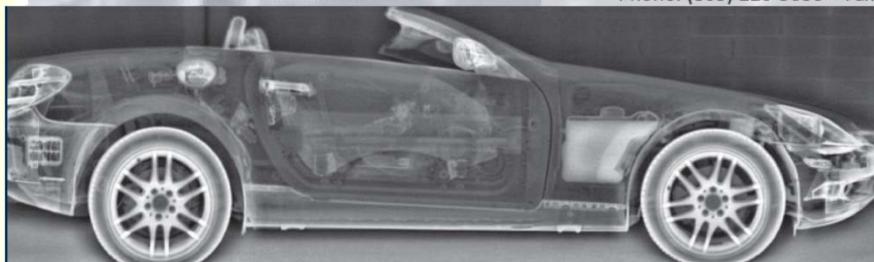
Industrial proven technology

Patented Radiography by  
Selective Detection

- Improved subsurface resolution
- Improved subsurface contrast
- Depth information

Flaw detection

- Cracks and voids
- Delaminations
- Corrosion
- Deposits
- Adhesive thickness
- Materials
- Boric acid residue
- Plastics
- Reinforced carbon-carbon composites
- Space shuttle external tank foam
- Honeycomb structures (Aircraft wings)
- Laminates
- Aluminum & titanium alloy



## NUCSAFE<sup>®</sup>

is proud to offer its latest line of scatter x-ray imaging (SXI<sup>™</sup>) products for your NDI applications. Our SXI<sup>™</sup> products combine NuSAFE's<sup>®</sup> field proven smart sensor technology and the innovative, patented "Radiography by Selective Detection" backscatter techniques developed at the University of Florida for the space shuttle's 2005 return to flight in reliable commercially available SXI<sup>™</sup> systems.

SXI<sup>™</sup> systems combine the penetrating power of x-rays with single-sided imaging that produces images any radiographer or technician can easily interpret.

Our current NDI customers include:

- Boeing
- NASA
- Lockheed Martin
- United Space Alliance
- Textron Defense System
- Gas Technology Institute

For further information contact:

**NuSAFE Inc.**

Phone: (865) 220-5050 • Fax: (865) 220-5090

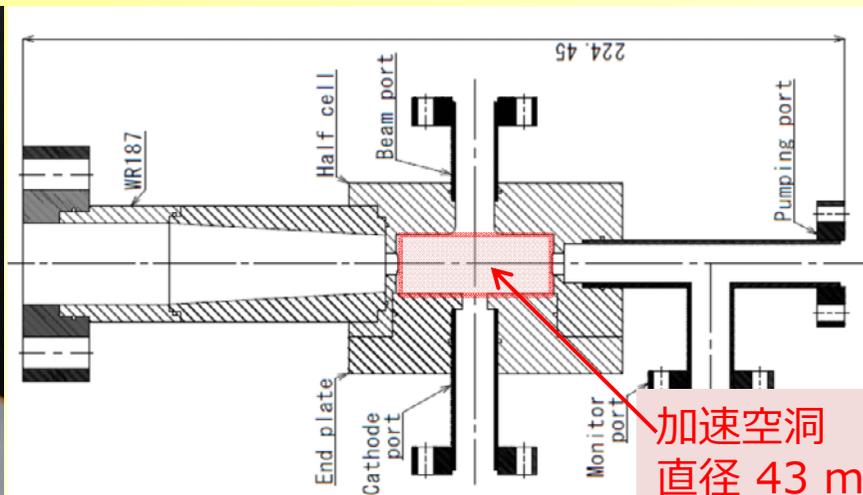
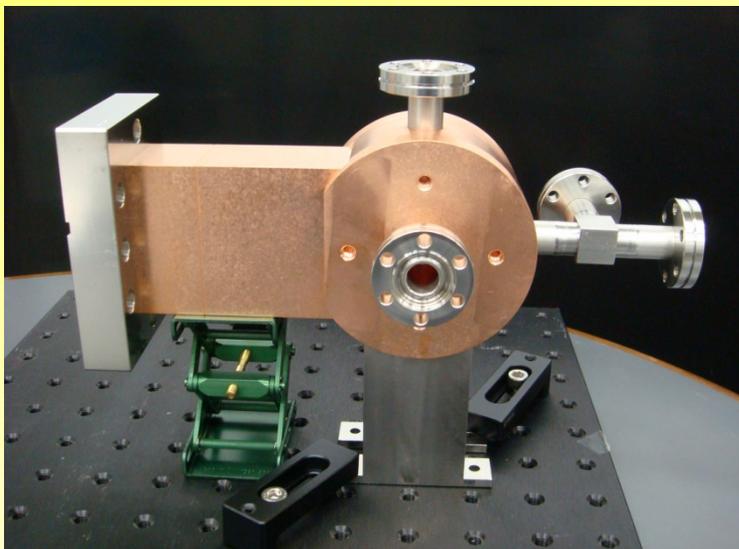
ISO Certified 9001:2008  
Certified FANUC Integrators

Copyright. NuSAFE, Inc.<sup>®</sup>  
All Rights Reserved



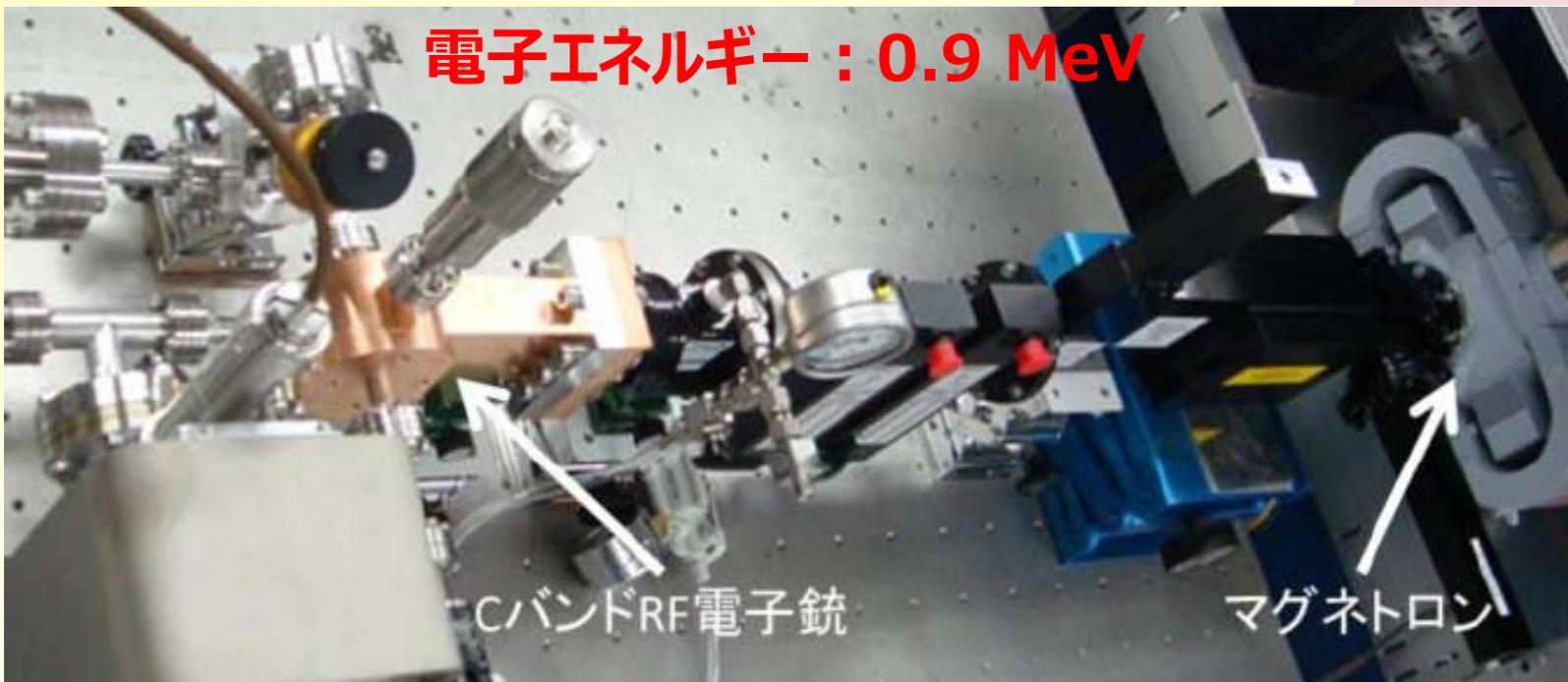
Single-sided backscatter  
x-ray imaging for your  
NDI applications

**NUCSAFE, INC.<sup>®</sup>**  
601 Oak Ridge Turnpike • Oak Ridge, TN 37830



加速空洞  
直径 43 mm  
長さ 16 mm

電子エネルギー : 0.9 MeV



CバンドRF電子銃

マグネトロン

- ◆ 国民が安心して日本の社会インフラを利用し続けるために、劣化や損傷を早く、確実に、簡便に計測して診断する次世代インフラ診断技術開発が急務。
- ◆ 裏面へアクセスできない場所でX線イメージングを行うために、高エネルギー短パルスX線源を用いた後方散乱イメージング法を適用。1 MeVで30 cm深さまで可視化可能。

### 解決すべき技術課題

- ◆ **小型・高エネルギーX線源**：  
MeVのX線を100 kg未満のシステムで発生
- ◆ **計測システム**：  
多チャンネルX線飛行時間測定システム
- ◆ **移動測定システム**：検査用車両、除熱機構、ソフトウェアなど