

การสร้างภาพตัดขวางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
ด้วยเทคนิคชดเชยการหักเห และไม่ชดเชยการหักเหของคลื่น

Ultrasonic Diffraction Computed Tomography

V.S. Ultrasonic Non-Diffraction Tomography

ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์[†] คทา จารุวงศ์รังสี[†] มนัส ลังวรศิลป์[†] และ K. Hamamoto[‡]

[†]ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[‡]Department of Information Media Technology.

School of IT. Tokai University. Japan.

Objective

- เพื่อศึกษาการสร้างภาพตัดขวางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ทั้งวิธีการที่ไม่มีการชดเชยการหักเหของคลื่น และที่มีการชดเชยการหักเหของคลื่น
- เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพตัดขวาง ที่ได้รับจากวิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยการกระเจิงของคลื่น และวิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยดัชนีหักเหของคลื่น
- เพื่อหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพตัดขวางที่ได้รับให้มีความสมบูรณ์

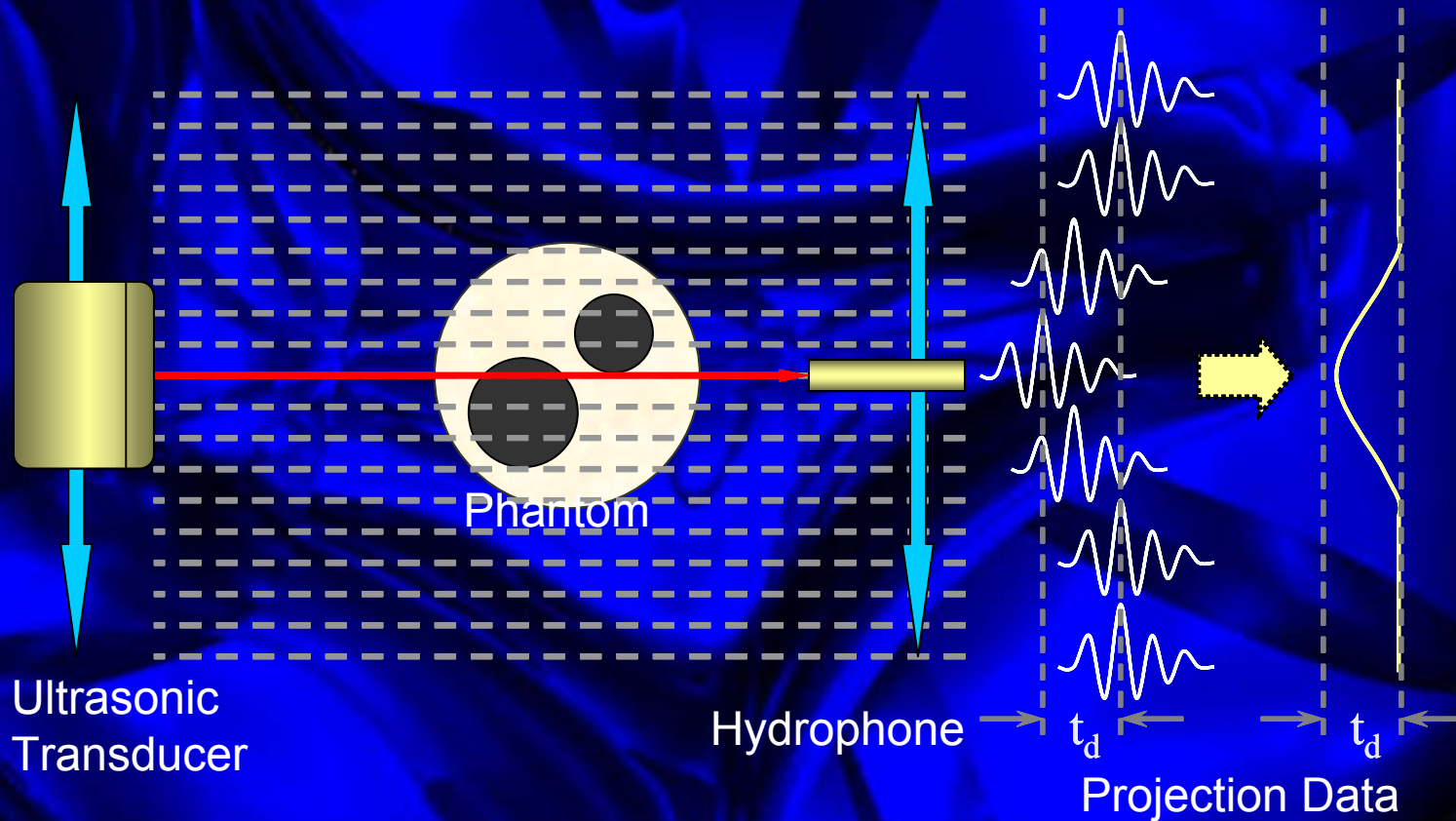
Overview

- บทนำ
- หลักการสร้างภาพตัดขวางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
- องค์ประกอบของระบบ
- การทดลองและผลการทดลอง
- แนวทางในการพัฒนา
- บทสรุป

บทนำ

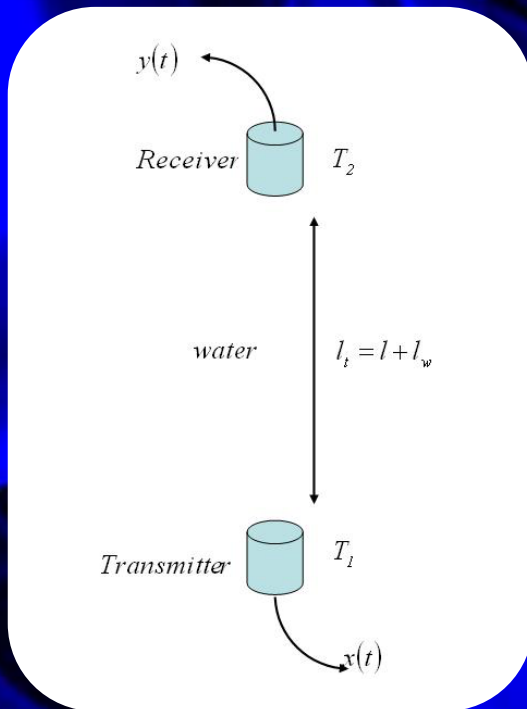
ในการสร้างภาพตัดขวางต่างๆนั้นสามารถทำได้หลายวิธีการ ทั้งการใช้ X-Ray CT, Magnatic Resonance Imaging (MRI), SPEC, PET ฯลฯ ซึ่งแต่ละวิธีการก็มีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไป นอกเหนือจากนี้ คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง โดยมีจุดเด่นที่สำคัญทางด้านความปลอดภัย เนื่องจากไม่มีการแพร่กระจายและสะสมของสารกัมมันตภาพรังสีดังวิธีการอื่นๆที่กล่าวไว้ข้างต้น อีกทั้งมีต้นทุนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น จึงจัดเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการวิจัยและพัฒนา เพื่อหาแนวทางในการนำมาใช้งานจริงต่อไป

Ultrasonic Refractive Index & Sound Velocity Tomography



Ultrasonic Refractive Index & Sound Velocity Tomography

$$Y_w(f) = X(f)H_1(f)H_2(f) \times \exp[-(\alpha_w(f) + j\beta_w(f))(l + l_w)] \dots(1)$$



Where :

$X(f)$ is the Fourier transform of $x(t)$.

$Y_w(f)$ is the Fourier transform of $y_w(t)$.

$H_1(f)$ is the transfer function of the transmitter.

$H_2(f)$ is the transfer function of the receiver.

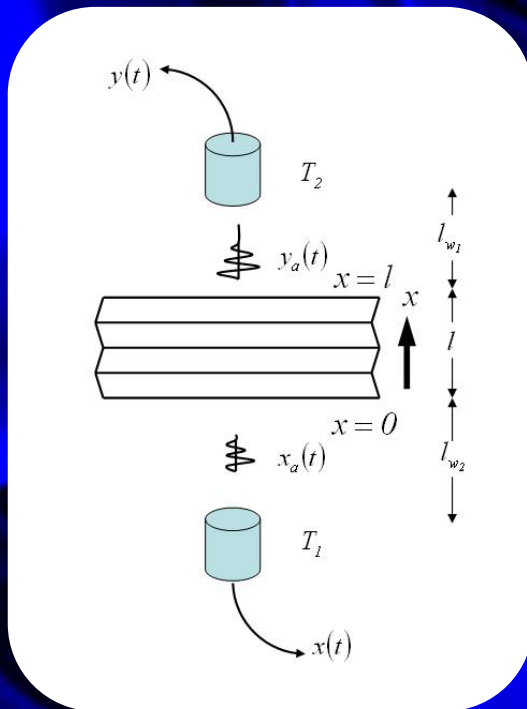
$\alpha_w(f)$ is the frequency-dependent attenuation coefficient of the water.

$\beta_w(f)$ is the frequency-dependent phase coefficient of water.

l is the thickness of specimen, and $l_w = l_{w1} + l_{w2}$ is the length of water channels.

Ultrasonic Refractive Index & Sound Velocity Tomography

$$Y(f) = A_{\tau} Y_w(f) \exp[-j\beta_w(f)l_w] \times \exp\left[-\int_0^l [\alpha(x, f) + j\beta(x, f)] dx\right] \dots(2)$$



Where :

A_{τ} is the attenuation occurring between the junctions of difference refractive index, so-called the transmittance.

$\alpha(x, f)$ is the attenuation coefficient at position x .

$\beta(x, f)$ is the phase coefficient at position x .

Ultrasonic Refractive Index & Sound Velocity Tomography

$\beta(x,f) = 2\pi f / V(x)$ when $V(x) =$ Propagation velocity of sound at position x

$\beta_w = 2\pi f / V_w$ when $V_w =$ Propagation velocity of sound in water

$$Y(f) = A_r Y_w(f) \exp\left[-\int_0^l \alpha(x,f) dx\right] \times \exp\left[-j2\pi f \int_0^l \left(\frac{1}{V(x)} - \frac{1}{V_w}\right) dx\right] \dots(3)$$

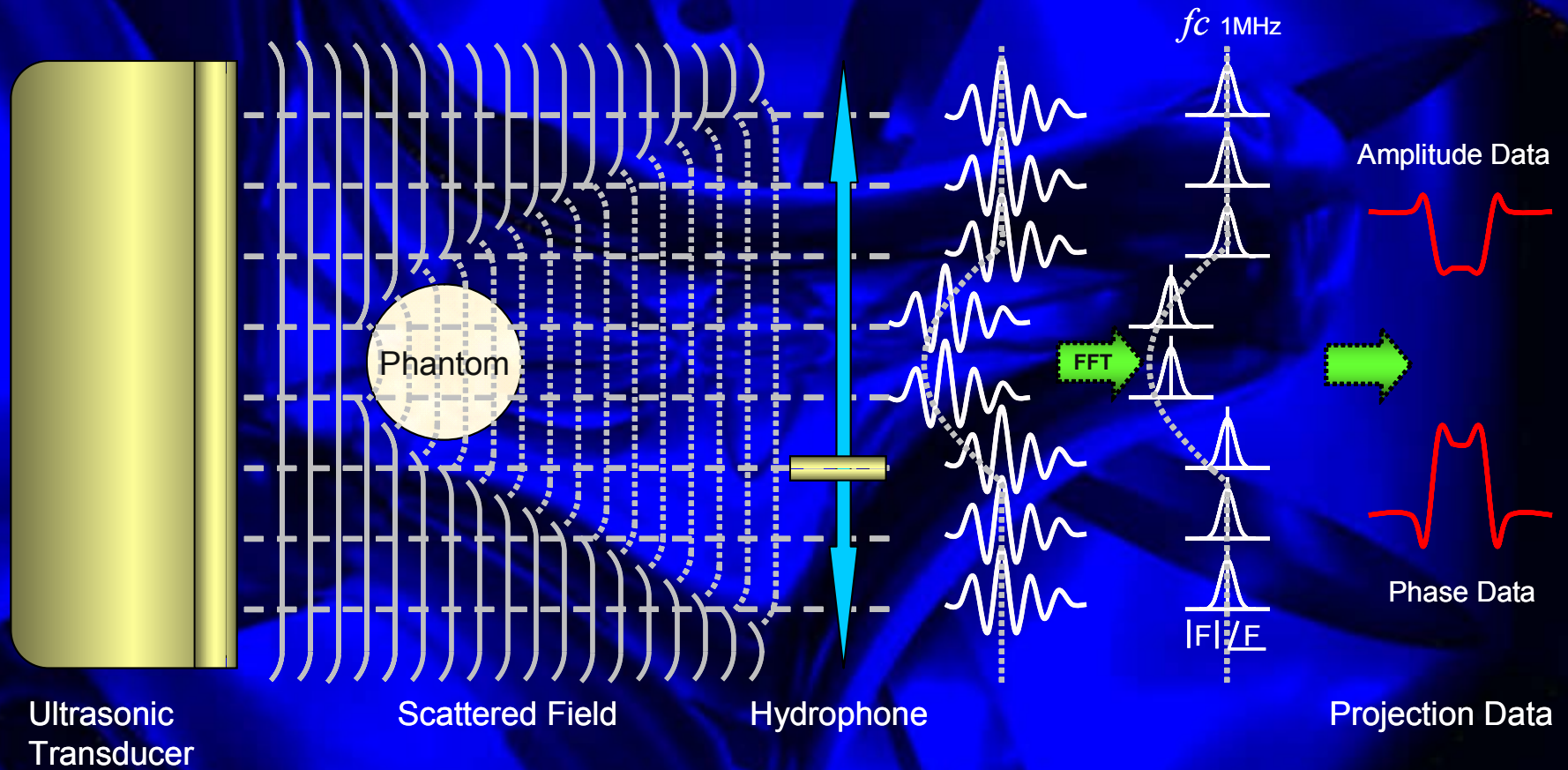
Ultrasonic Refractive Index & Sound Velocity Tomography

$$T_d = \int_0^l \left(\frac{1}{V(x)} - \frac{1}{V_w} \right) dx \quad \dots(4)$$

$$n(x) = \frac{V_w}{V(x)} \quad \dots(5)$$

$$T_d = \int_0^l \left(\frac{1}{V(x)} - \frac{1}{V_w} \right) dx = \frac{1}{V_w} \int_0^l (n(x) - 1) dx \quad \dots(6)$$

Ultrasonic Diffraction Tomography



Ultrasonic Diffraction Tomography

Helmholtz's wave equation

$$(\nabla^2 + k_0^2)u(\bar{r}) = -k_0^2 o(\bar{r})u(\bar{r})$$

Rytov Approximation (at weak scattered)

$$\hat{u}(\bar{r}) = u_0(\bar{r}) \left(\log \frac{U_s(\bar{r})}{U_0(\bar{r})} + j\theta(\bar{r}) \right)$$

$$(\nabla^2 + k_0^2)\hat{u}(\bar{r}) = -k_0^2 o(\bar{r})u_0(\bar{r})$$

When :

$u(\bar{r})$ is the total field

$u_0(\bar{r})$ is the incident field

$$k_0 = 2\pi/\lambda$$

λ is the wavelength

$o(\bar{r})$ is the object function

Ultrasonic Diffraction Tomography

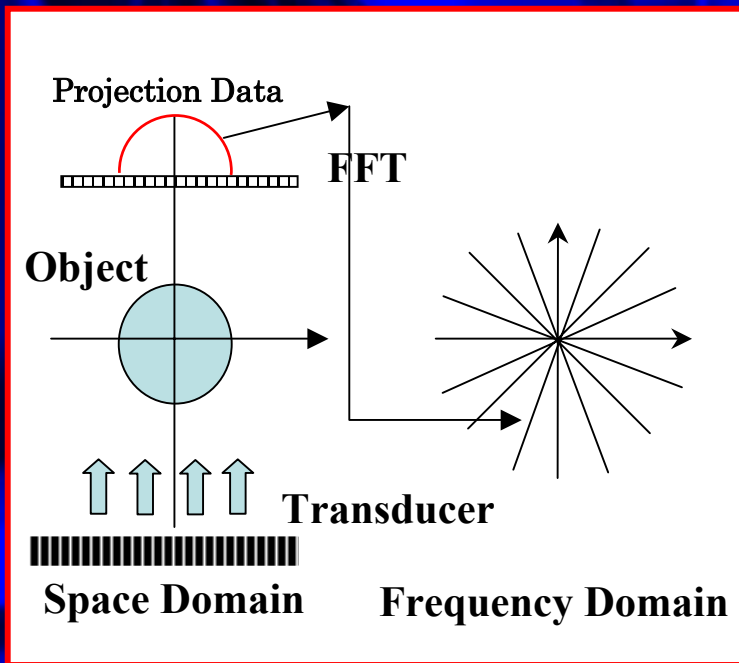
Detect Phase and Amplitude From Input Data

$$P_i(x, t) \Rightarrow FFT \Rightarrow P_i(x, \omega) \Rightarrow |P_i(x, \omega)| e^{j\phi_i(x, \omega)}$$

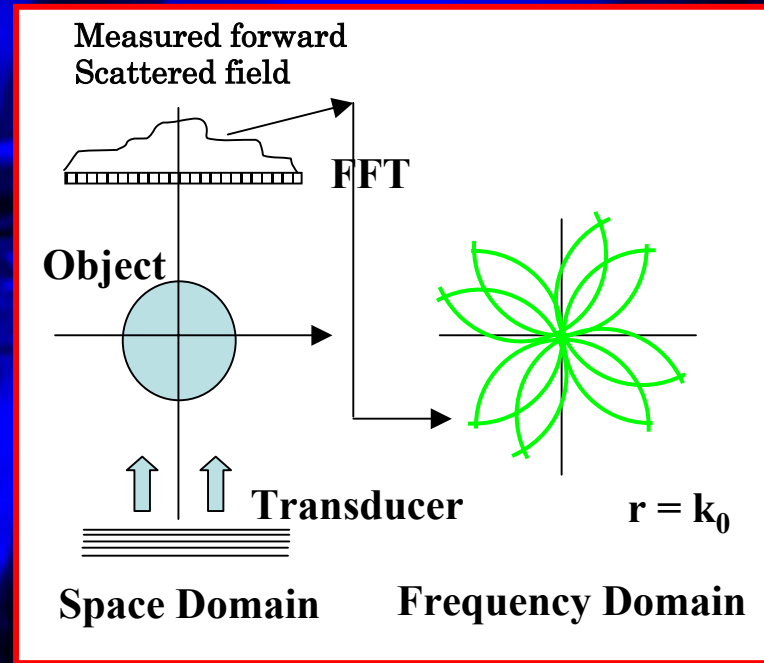
$$P_s(x, t) \Rightarrow FFT \Rightarrow P_s(x, \omega) \Rightarrow |P_s(x, \omega)| e^{j\phi_s(x, \omega)}$$

Normalization

$$\frac{|P_s(x, \omega)|}{|P_i(x, \omega)|} e^{j(\phi_s(x, \omega) - \phi_i(x, \omega))}$$

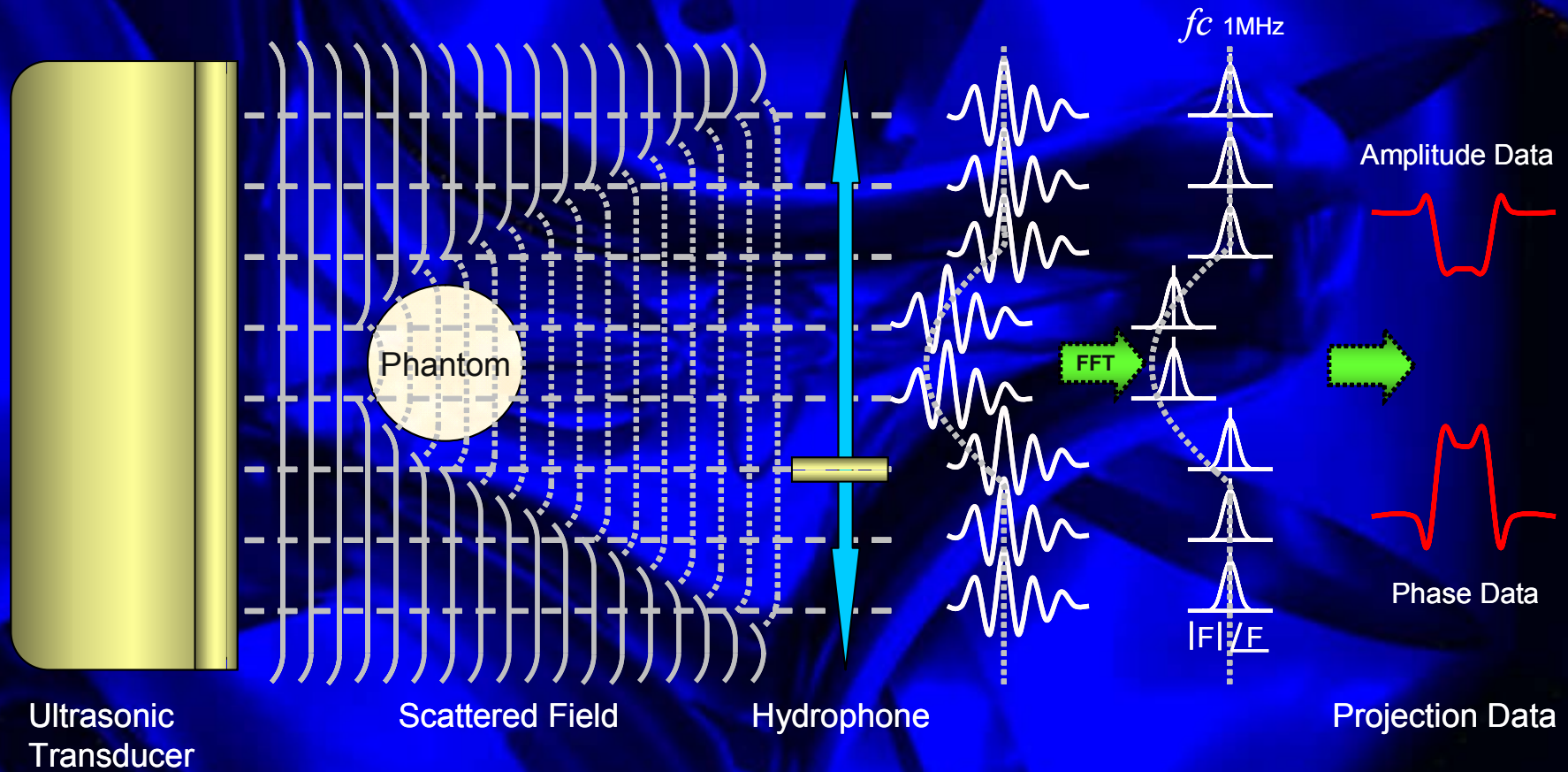


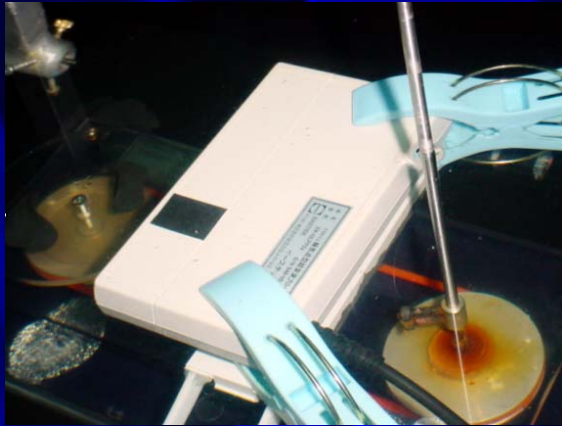
FTR



Fourier Diffraction

องค์ประกอบของระบบ





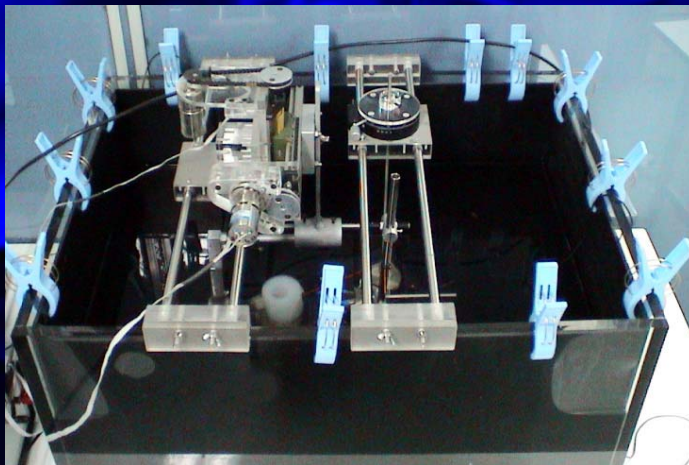
Ultrasonic Plane wave Transducer



Hydrophone



Ultrasonic Pulser - Receiver

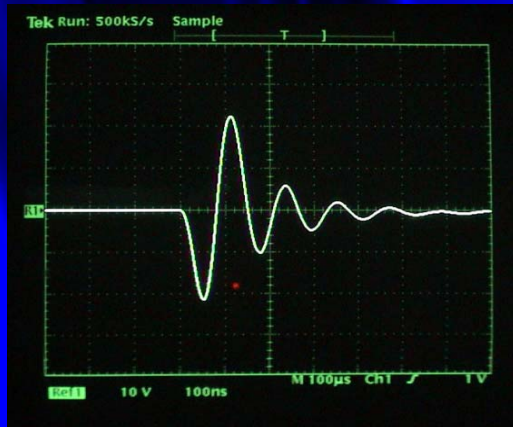


Water Tank & Stepping Control System

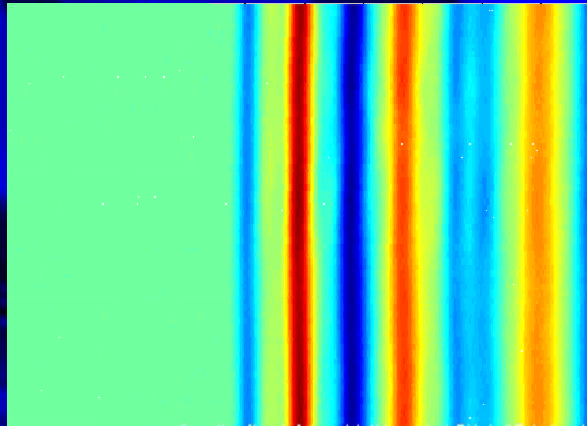


Overview of Acquisition System

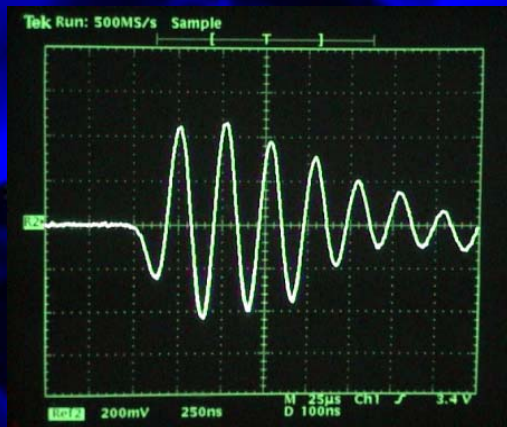
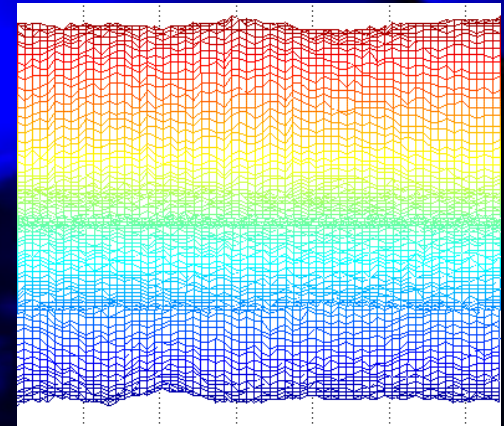
การทดลองและผลการทดลอง



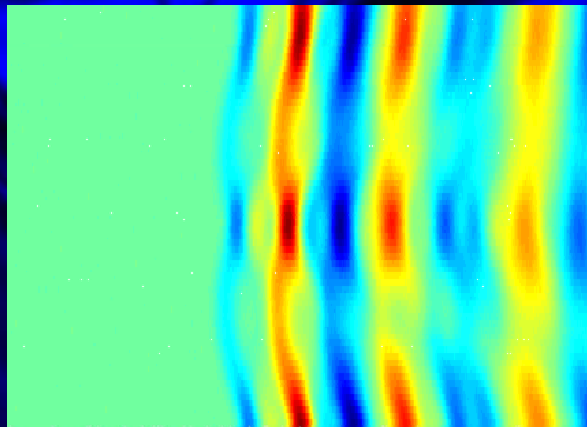
Transmitted Signal



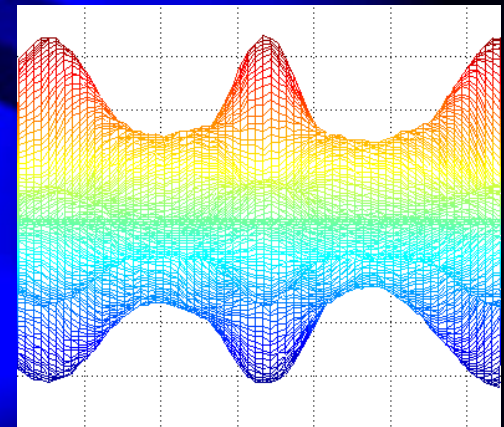
Incident Field

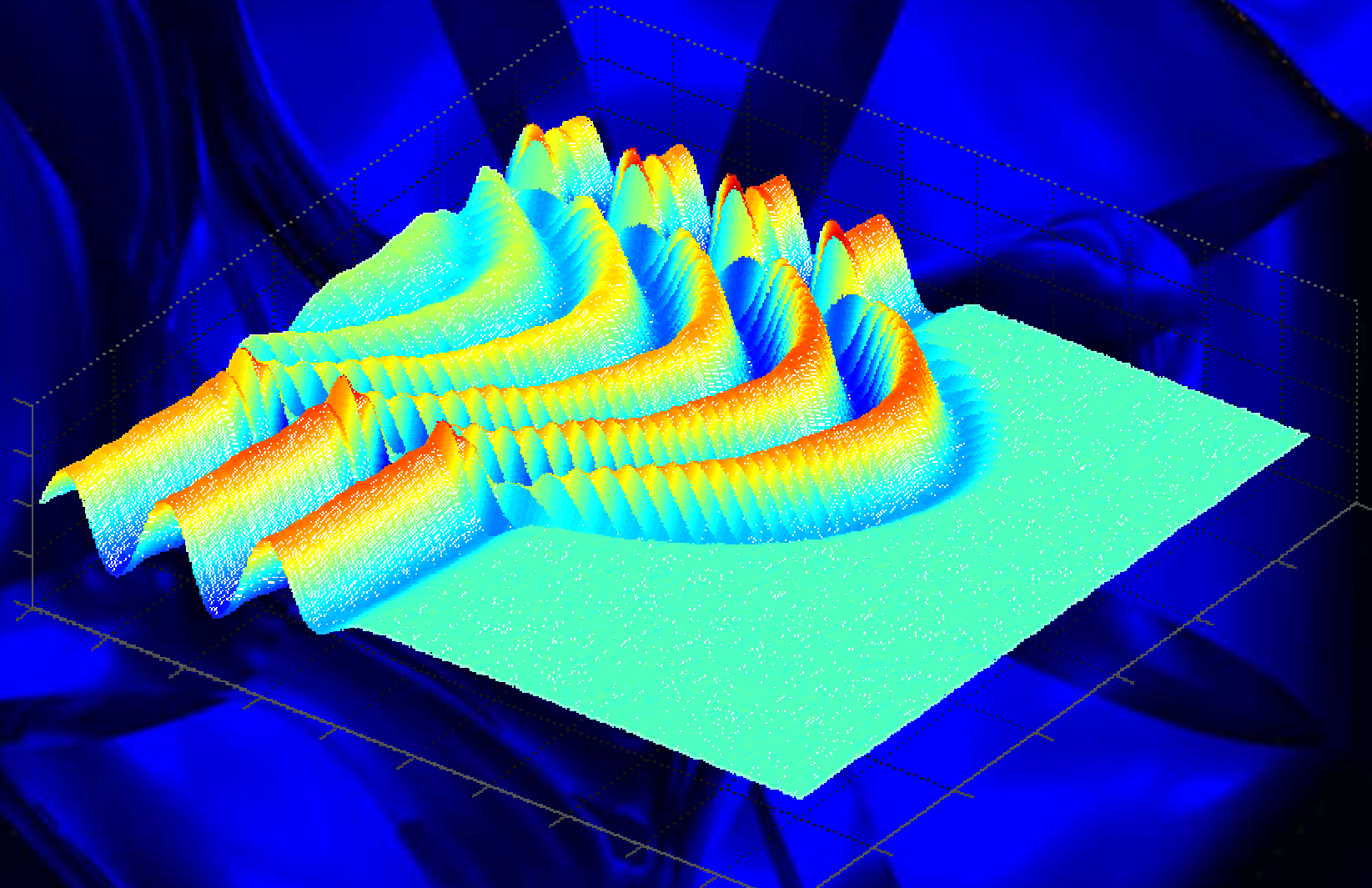


Received Signal



Example of Scattered Field

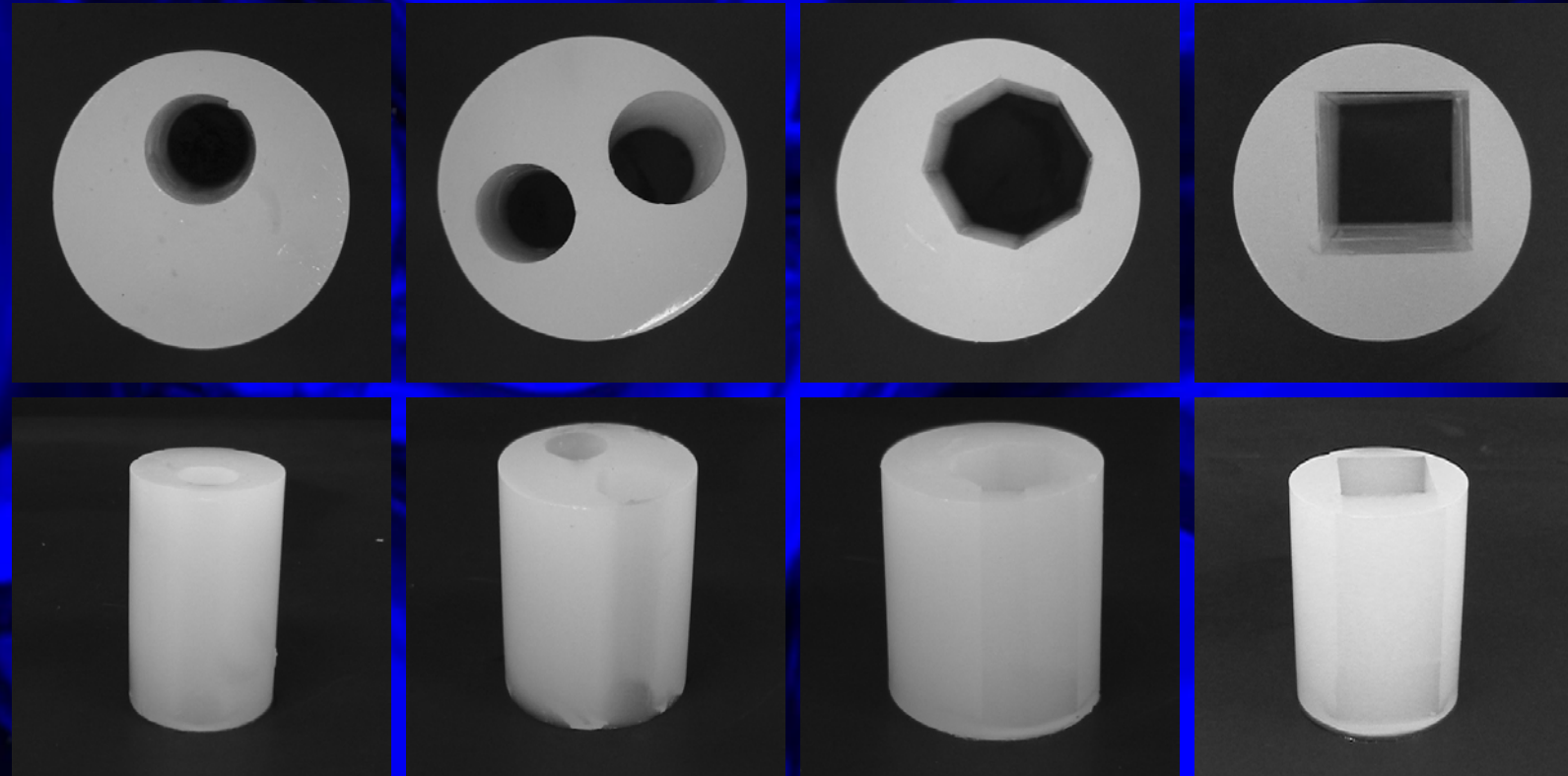




Example of Scattered Field (From high Refractive Index Phantom)

Experimental Results

- The top view and side view of Phantom with only one refractive Index



Phantom A

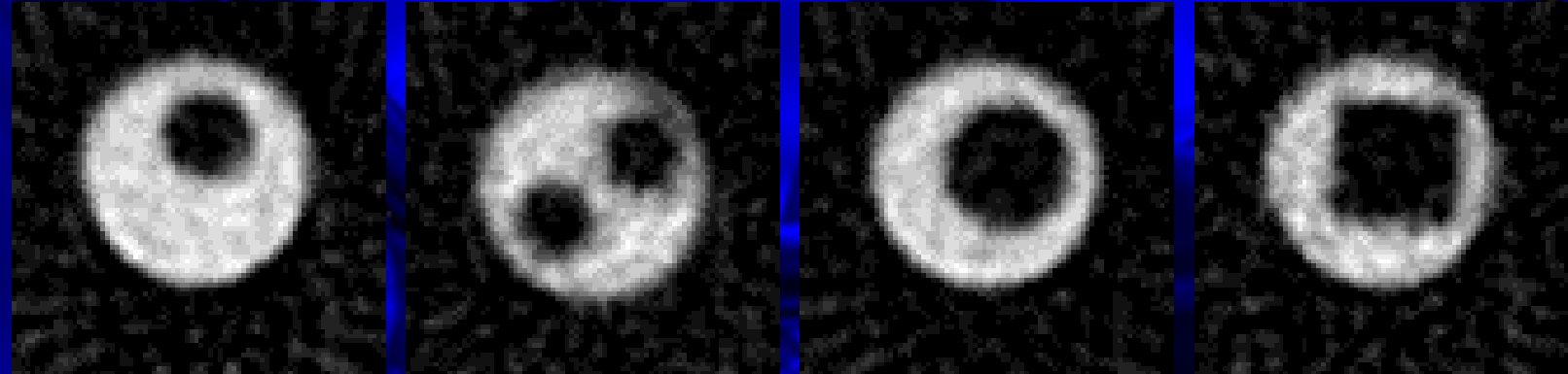
Phantom B

Phantom C

Phantom D

Experimental Results

- Reconstructed Results Filtered Back-Projection (FBP)



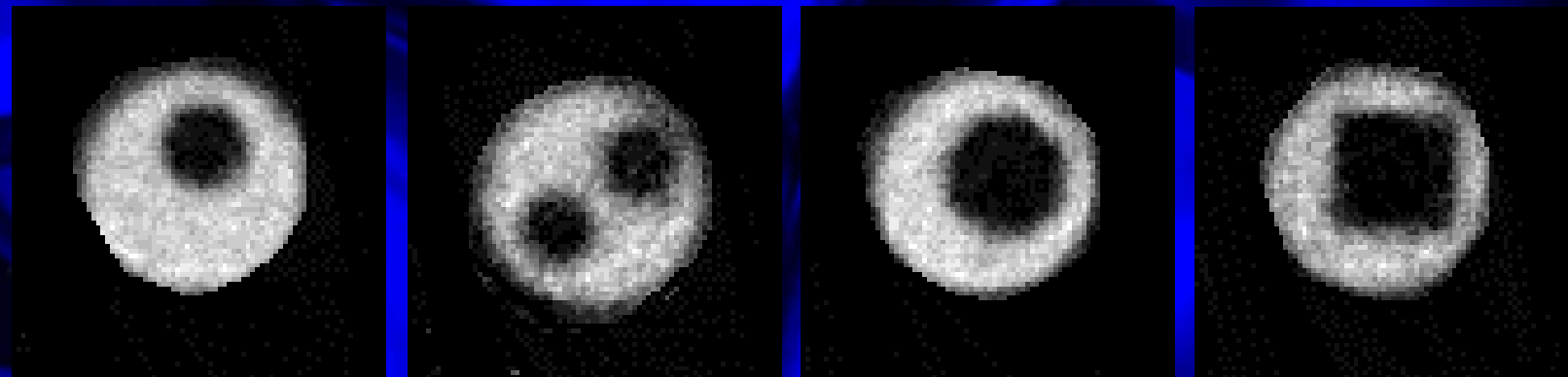
Phantom A

Phantom B

Phantom C

Phantom D

- Reconstructed Results Using SART (At 5 Iterations)



4/7/200 Phantom A

Phantom B

Phantom C

Phantom D

Experimental Results

- The top view and side view of Phantom with difference refractive Index



Phantom E

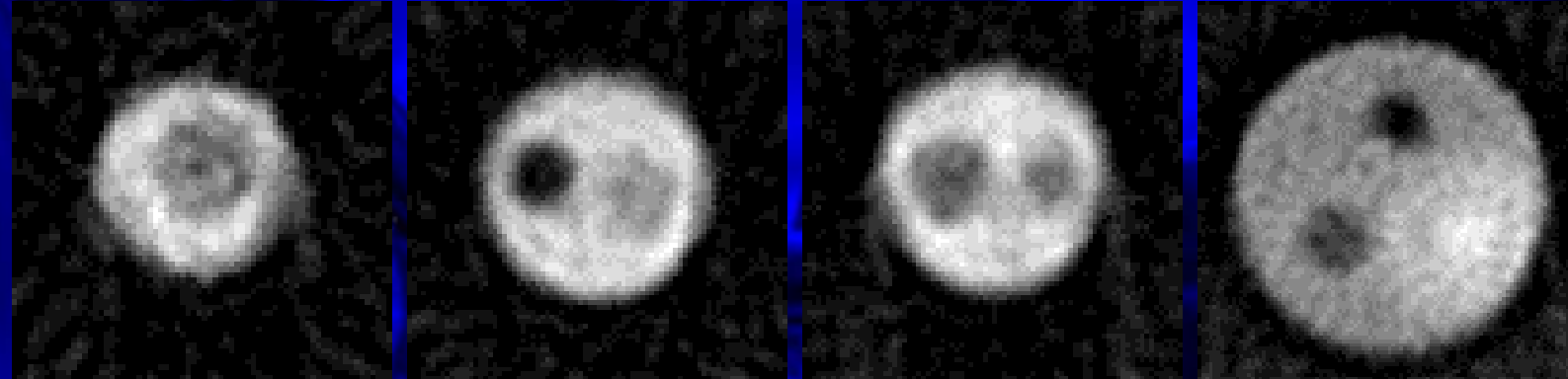
Phantom F

Phantom G

Phantom H

Experimental Results

- Reconstructed Results Filtered Back-Projection (FBP)



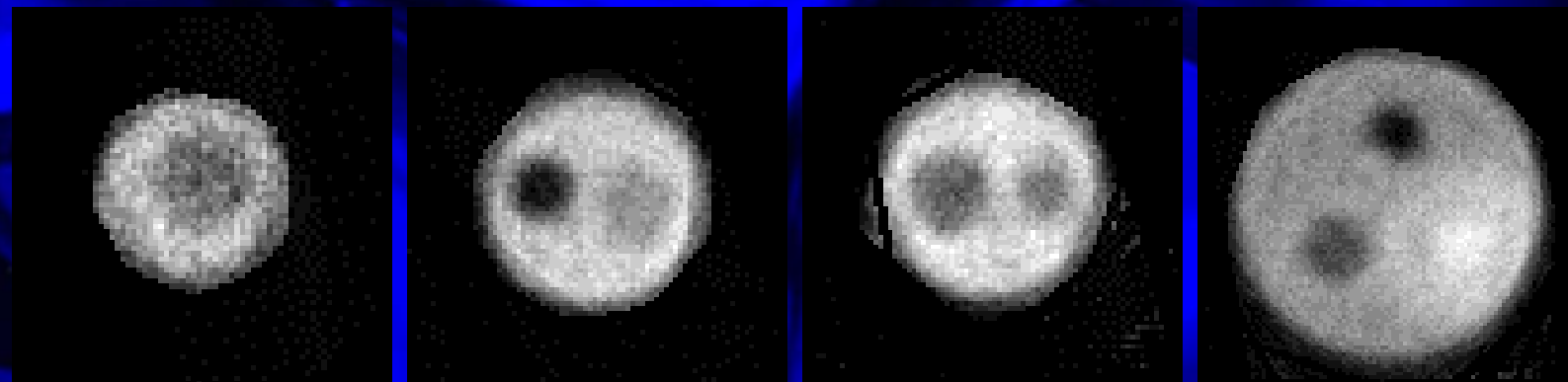
Phantom E

Phantom F

Phantom G

Phantom H

- Reconstructed Results Using SART (At 5 Iterations)



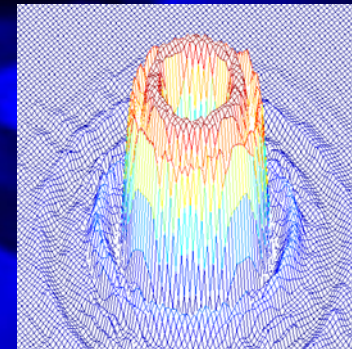
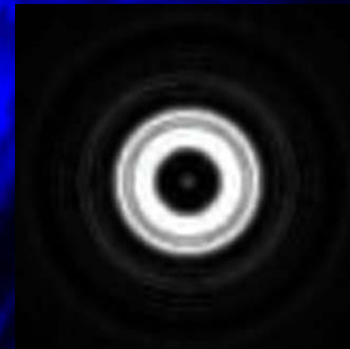
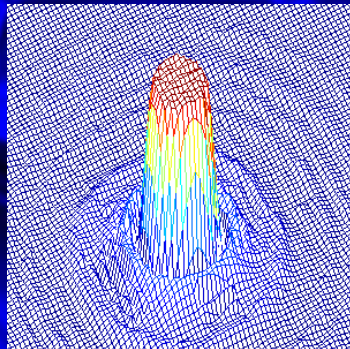
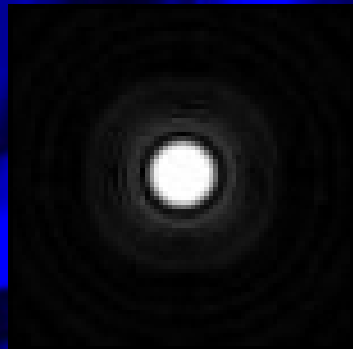
4/7/200 Phantom E

Phantom F

Phantom G

Phantom H

Experimental Results



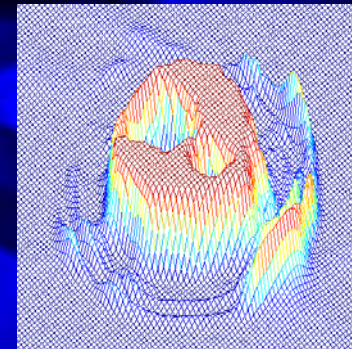
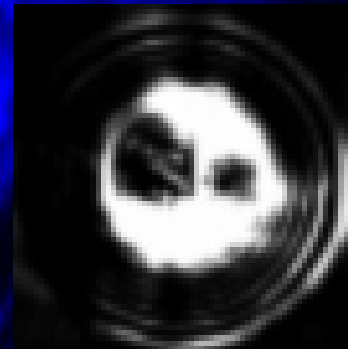
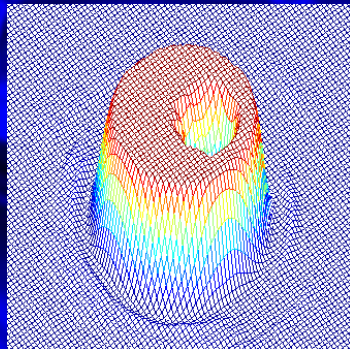
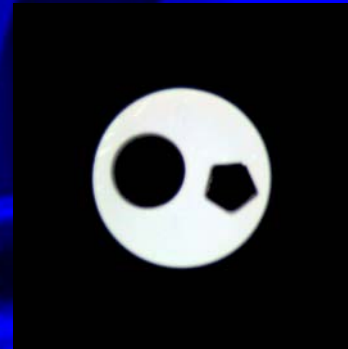
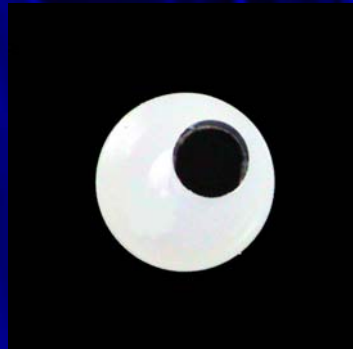
Phantom A

Refractive Index : 1.055
Phantom diameter: 1.1 cm
MSE : 13.8105%

Phantom B

Refractive Index : 1.033
Phantom diameter: 3.5 cm
MSE : 11.0972%

Experimental Results



Phantom C

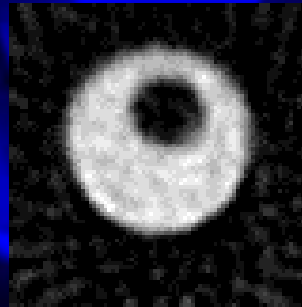
Refractive Index : 1.012
Phantom diameter: 3.5 cm
MSE : 13.2902%

Phantom D

Refractive Index : 1.017
Phantom diameter: 3.5 cm
MSE : 26.6464%

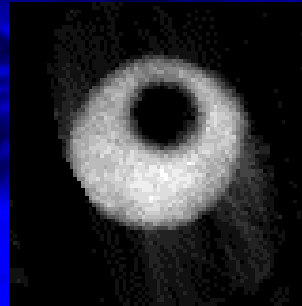
Diffraction VS Non-Diffraction

Refractive Index
Using : FBP



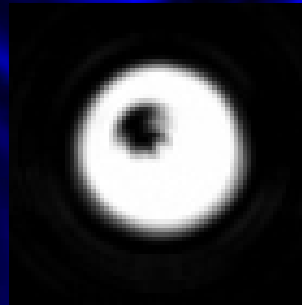
MSE 40.16%

Refractive Index
Using : SART

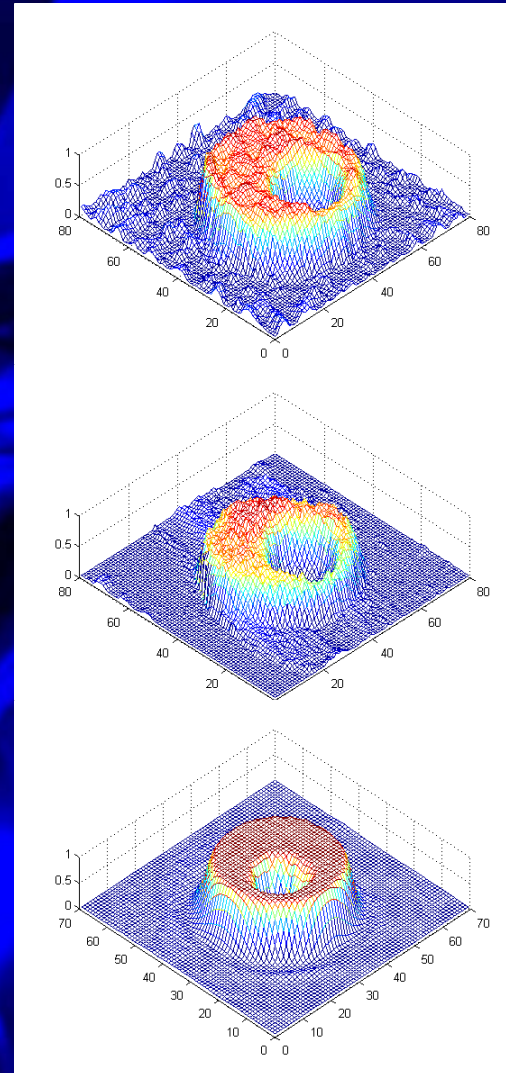


MSE 17.83%

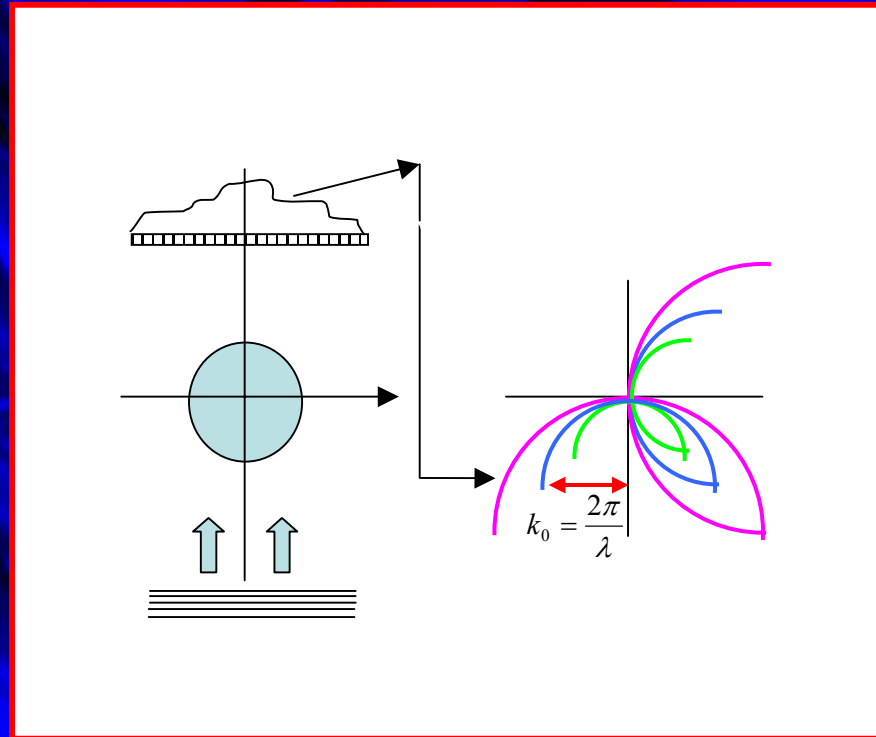
Diffraction
Tomography



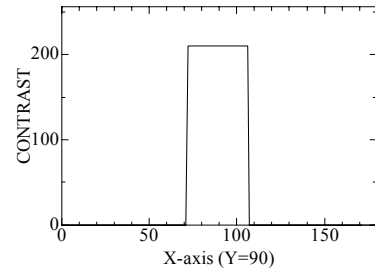
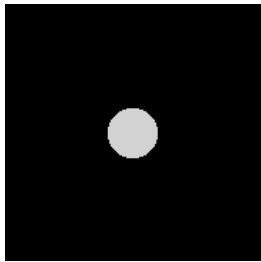
MSE 13.81%



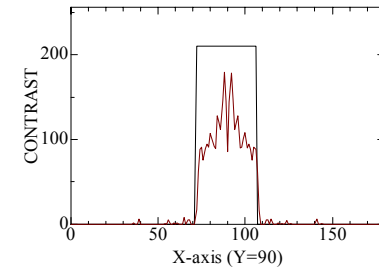
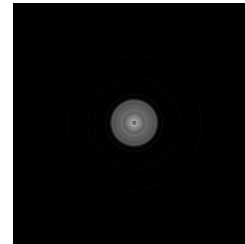
แนวทางการพัฒนา



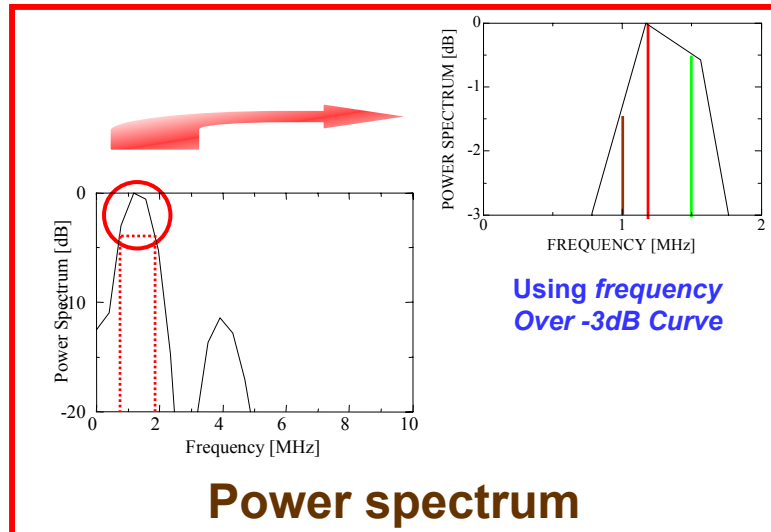
การปรับปรุงคุณภาพของภาพตัดขวางที่ได้จากวิธีการ Diffraction Tomography ด้วยการใช้ข้อมูลจากความถี่ต่าง ๆ กัน



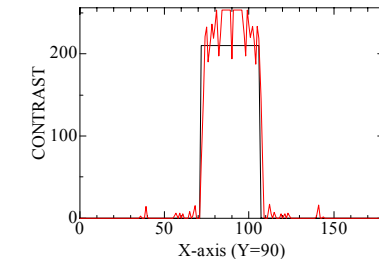
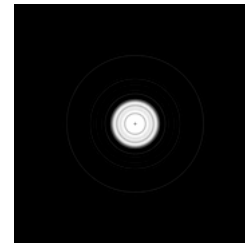
Simulated Phantom



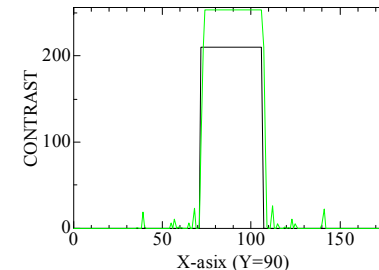
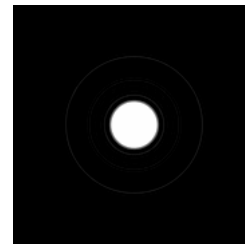
Reconstructed Result at $f = 1\text{Mz}$



Power spectrum



Reconstructed Result at $f = 1\text{Mz} + 1.2\text{Mz}$



Reconstructed Result at $f = 1\text{Mz} + 1.2\text{Mz} + 1.4\text{Mz}$

ตารางแสดงค่า Mean Square Error ที่ความถี่ต่าง ๆ

Frequency (MHz)	MSE (%)
1	33.42
1.2	20.72
1.4	35.25
1+1.2	8.69
1+1.2+1.4	12.78

บทสรุป

วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อศึกษาการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกแบบที่ชดเชยการหักเห (Diffraction Tomography) ของคลื่นและแบบไม่ชดเชยการหักเหของคลื่น (Non-Diffraction Tomography) เราพบว่าผลของภาพตัดขวางที่สร้างได้จากเทคนิคที่ชดเชยการหักเหมีคุณภาพดีกว่าแบบที่ไม่ที่ชดเชยการหักเหแม้จำนวนโปรเจกชันจะน้อยกว่า นอกจากนี้สำหรับการสร้างภาพตัดขวางแบบไม่ชดเชยการหักเหของคลื่น เรายังเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคฟิลเตอร์แบ็คโปรเจกชัน (Filtered-Backprojection) และเทคนิคทางพีชคณิต (Algebraic Reconstruction Technique) ภาพตัดขวางที่ได้จากเทคนิคทางพีชคณิตที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีข้อมูลโปรเจกชันมีจำกัดมีคุณภาพดีกว่าเทคนิคฟิลเตอร์แบ็คโปรเจกชัน



The End

Thank You for Your Attention.