

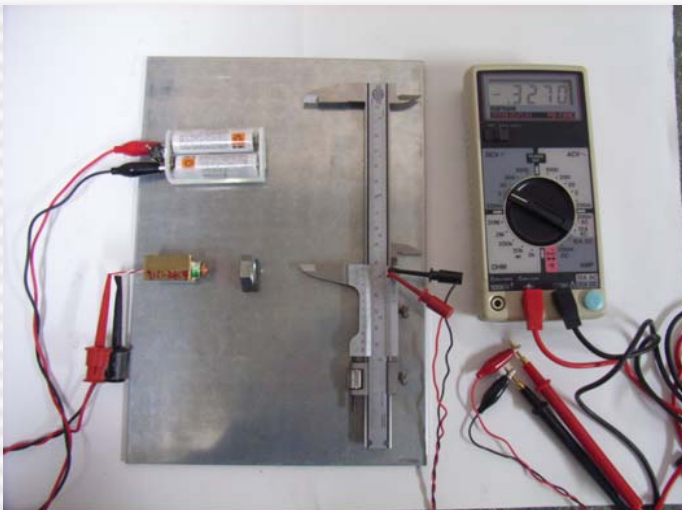
パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

一斉方式による個別教育の実現をめざして

千葉大学 大学院理学研究科 物理学コース

中山隆史

パーソナルデスクラボ(PDL)



- 背景／目的
- PDL実験教育の特徴
実験方式として
実験装置として
教育手法として
- PDL実験教育の過去現在未来
経緯／組織／展開／評価
- まとめ

本取組の背景

●現代社会

コンピュータ、AV通信機器、ゲーム・・・物理学を基礎とした科学技術
しかし 日常生活：少ない自然の実体験

少ない高校・大学での物理実験*、講義＝virtualな体験にすぎない

➡ **大学での科学学習への意欲の低下**

●大学の教養実験教育

施設・機器類等の確保が困難(スペース、経費etc)

➡ **実体験機会を増やすことが困難**

多様な学習歴の学生*

**科学技術立国・
日本の危機!!**

●現在の大学の教養科学教育の使命

将来の科学研究・技術者だけでなく、理系文系の多くの学生に
「科学的なものの見方」、「科学に対する正しい理解・知識」を、
しっかりとした教養として教育する

高等学校における物理実験の現状

●平均実験回数の調査

(2006年全国10大学に入学した物理既修学生2547名のアンケート結果。
山崎、他；2006年物理教育学会年次大会23pWA-5から許可引用)

分野	教科書の 実験数 (回)	生徒が行った 実験 (回)	教員による 演示実験 (回)	どちら か経験 (回)
力学・ 熱力学	14	2.38	2.16	4.09
波動	11	1.69	3.68	4.90
電磁気	14	1.92	2.20	3.67
原子・ 原子核	3	0.09	0.58	0.64
全体	42	6.08	8.63	13.30

●生徒実験

0回 = 20%
5回以下 = 60%

●実験内容

おんさ、ウェーブマシン等
・・・現象観察
イメージ的

実験本来の探索的な面白さを体験できてない

多様な履修歴の学生

30/66 67/93 25/46 13/32 33/56 7/48 7/48 8/34 4/21
210 680 200 455 95 80 80 370 180

入試/既修%
定員

理学部	工学部	園芸学部	教育学部	医学部	薬学部	看護学部	法経学部	文学部
-----	-----	------	------	-----	-----	------	------	-----

講義
演習

力学B, B1+B2、電磁気C, C1+C2、入門A、世界
熱統計力学D
量子力学E

理系のべ7700名受講
文系300名

実験

少人数・巡回従来方式

PDL

PDL

理系1100名受講 (17クラス)
内、PDL約100名(2クラス)

H20～

PDL

全受講生

- 千葉大学の中期目標
総合大学として、文理
融合の理念に基づく
学際的教育研究の推進

教養科学教育の
役割は大きい！

- 学部ニーズに
合わせた教育
- 文系学生の
科学教育も

パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜

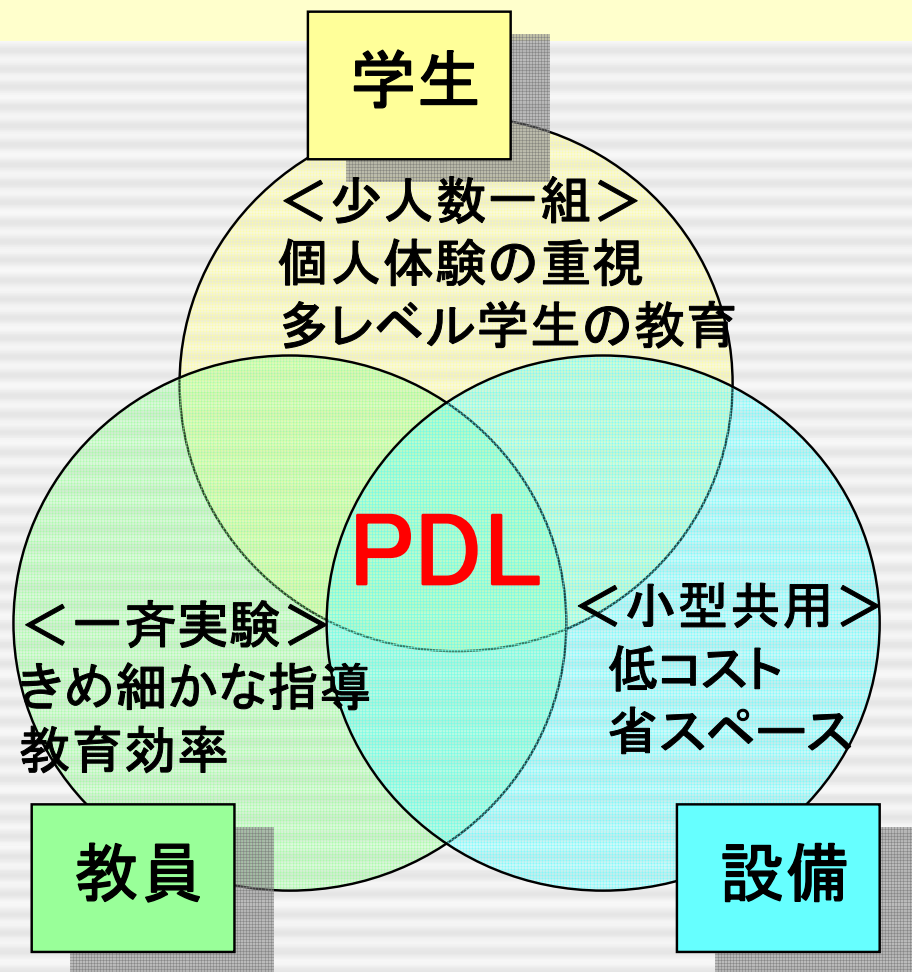


国立大学法人 千葉大学
National University Corporation
Chiba University

我々がめざした教育戦略

● 実体験・ものづくりの感動、学習意欲向上、記憶定着

→ **実験教育**が有効



● 学生：確実な体験型実験
多様履修歴の学生(9学部)

→ **個人型実験**

● 教員：きめ細かく指導
教育効率

→ **複数教員による一斉実験**

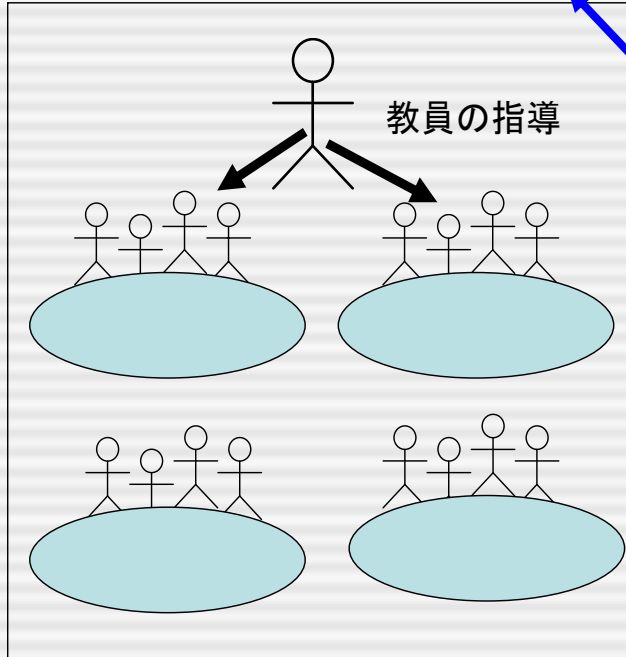
● 設備：低コスト(設置、維持)
省スペース

→ **小型実験装置**

⇒ **新しい教育機器＋教育手法の開発**

従来の主な実験方式

グループ・一斉方式

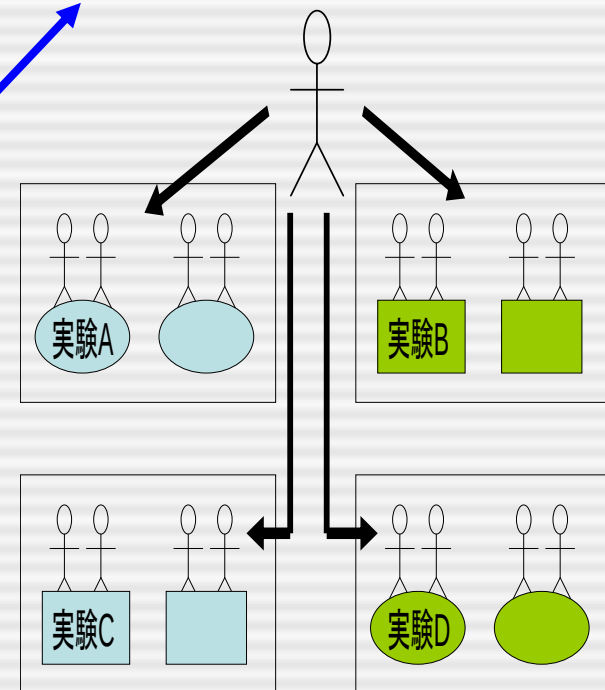


含：ビデオ、
演示実験

物理実験
= 大型装置
少ない装置数
による制約

- テーマ順序(系統性、深さ)
- 教員の指導
- ×個人体験

個人・巡回方式



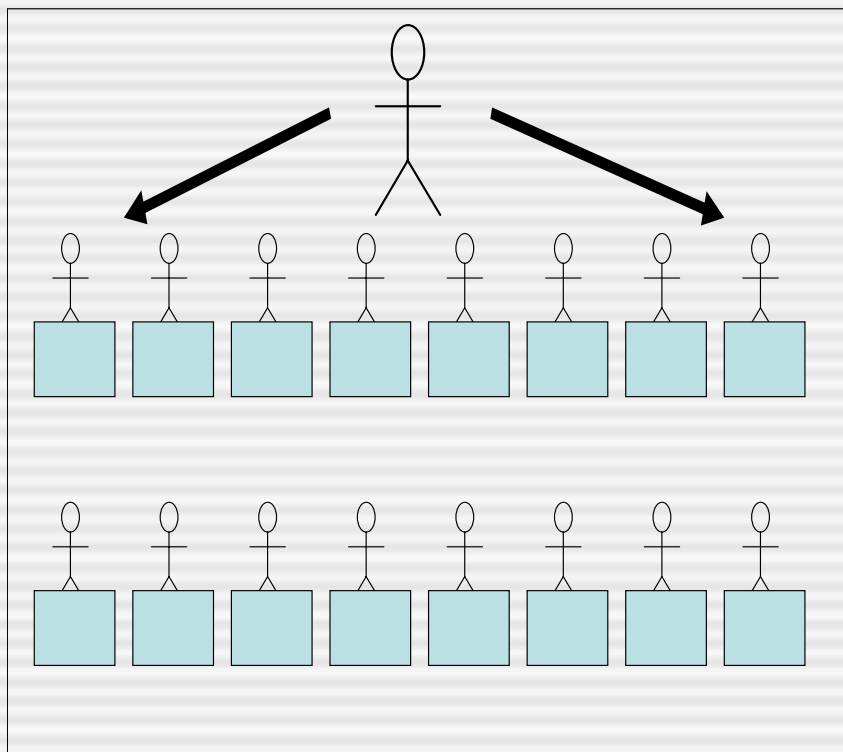
- 個人体験
- ×適時指導
- ×テーマ順序

PDL: 実験方式としての特性



個人・一斉方式

理想的方式



◎個人体験

○教員のきめ細かい適時指導

○テーマ順序(系統性)

○テーマ内容(深さ)



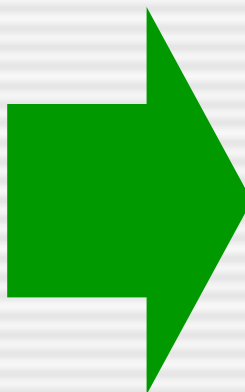
? 限られたスペース

? 限られた経費



コンパクトな実験機器開発で可能!

PDL: 実験装置としての特性



1/20



A4サイズ

- **コンパクト** ...一斉・個人実験可、講義室でも
- **部品組立式** ...black boxでない！
 - 仕組みの理解、組立満足感
 - 現代科学技術への理解・興味
- **低コスト** ...共用化で部品数・故障削減
1-4万円/台

CDプレーヤー (半導体レーザー)



PDL実験例(1) 光の回折

実験目的

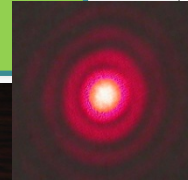
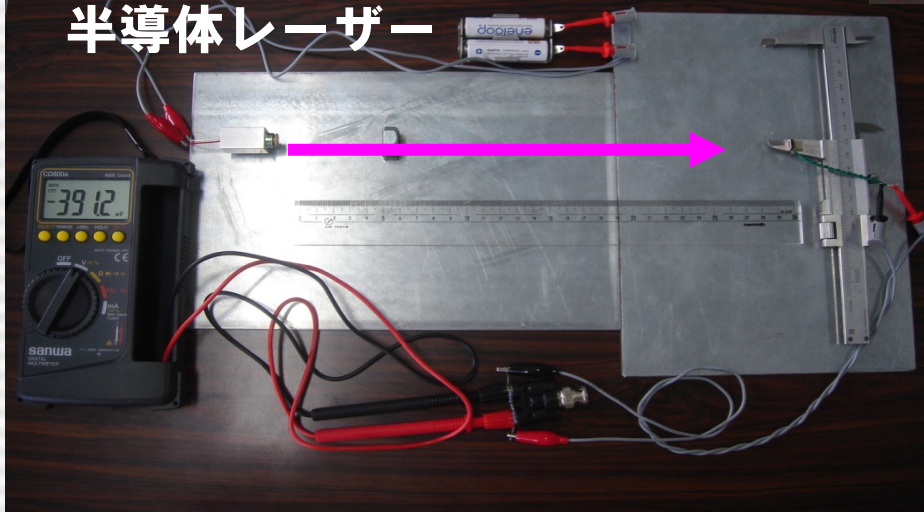
- 単スリットによる光の回折像を観察する
- 単スリットからの回折強度を測定し、理論式と比較する

実験セットアップ

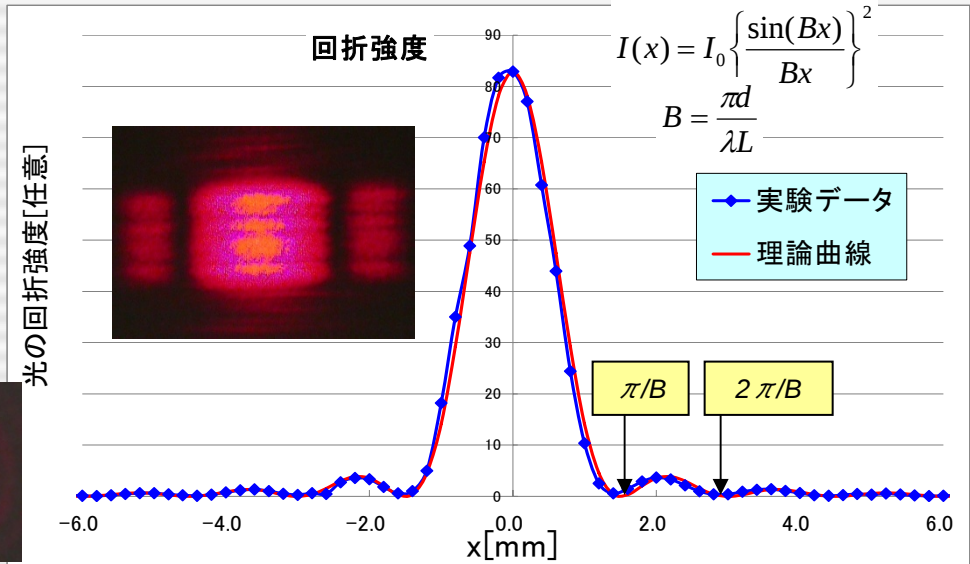
<実験器具>

・鉄板(2枚) ・レーザー($\lambda = 670\text{nm}$) ・電池(2個) ・電池ホルダー
・リード線(赤、黒 各2本) ・調節用マグネット(2個または4個)
・200k Ω 負荷抵抗 ・PD(スリット付フォトダイオード) ・DMT(デジタルマルチテスター) ・単スリット
・ノギス ・スクリーン ・簡易顕微鏡 ・遮蔽用の黒紙

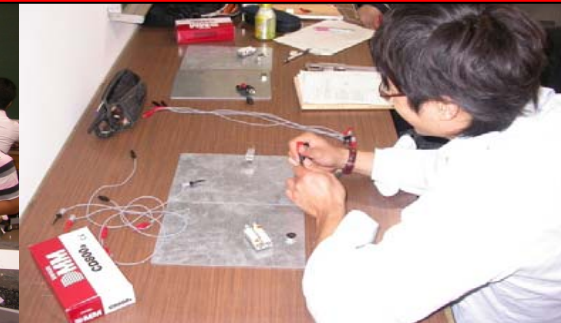
半導体レーザー



測定例



回折縞より光＝波と確認、回折理論の理解、多様な回折・干渉現象へ発展



パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜



国立大学法人 千葉大学
National University Corporation
Chiba University

PDL実験例（2）光の偏光

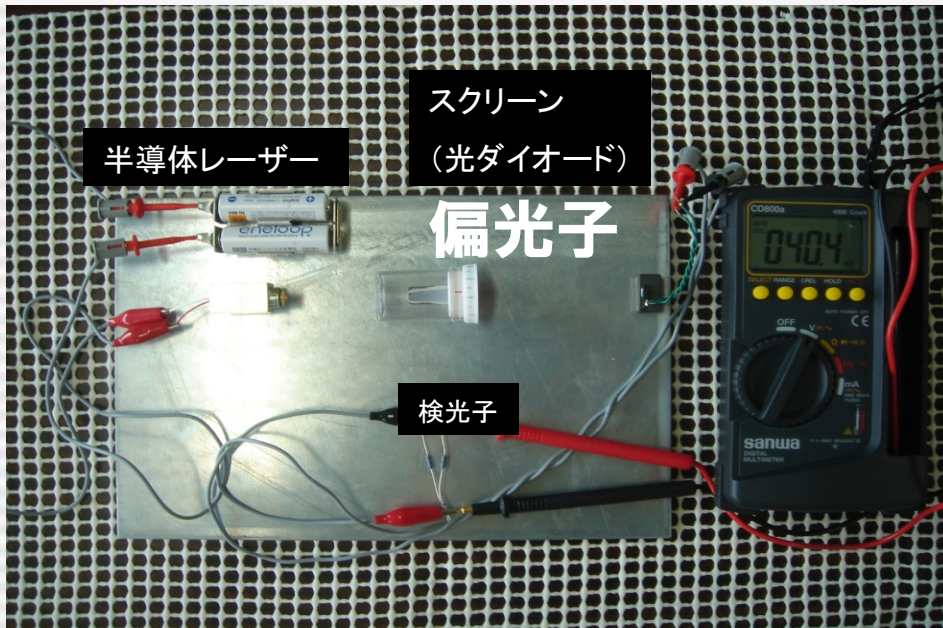
実験目的

- 光ダイオードを用いた光の強度測定法を習得する
- 光の偏光性について実験を行い、理解を深める

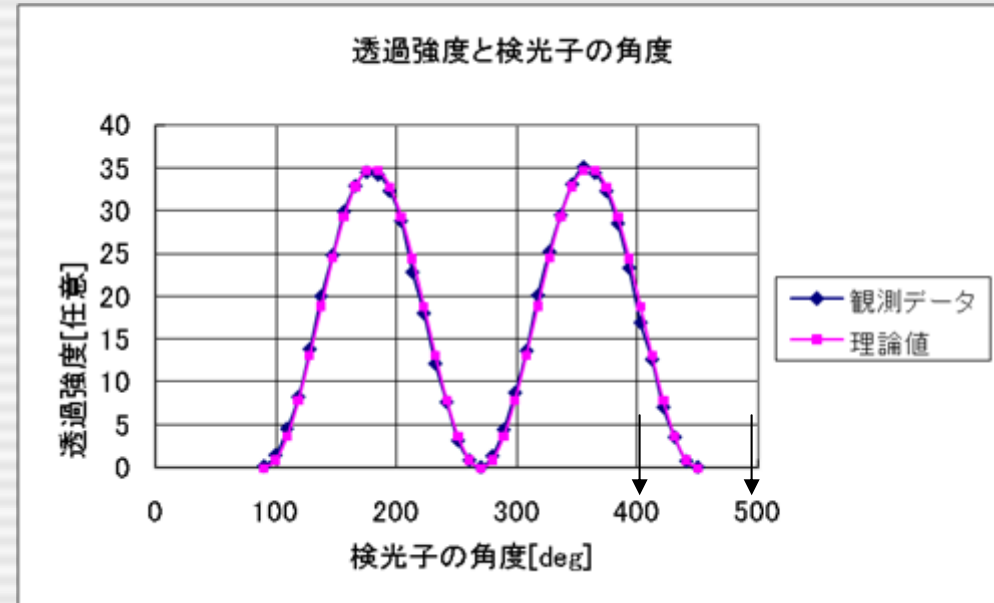
実験セットアップ

<実験器具>

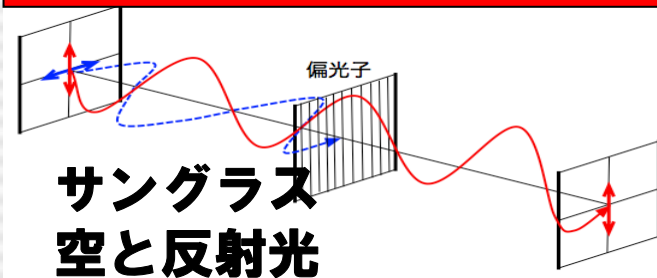
・光学台（鉄板）・光源（半導体レーザー $\lambda = 670\text{nm}$ ）・偏光子、検光子（プラスチックケースのふたと底にとりつけてある）、光ダイオード（PD）、PD用負荷（ $1\text{k}\Omega$ ）・DMT（デジタルマルチテスター）・DMT用リード線



測定例



光＝ベクトルを確認、偏光度の数理的
的理解、多様な偏光現象に発展



透過強度

$$I = I_0 \cos^2 \phi$$

PDL実験例（3）光の反射と屈折

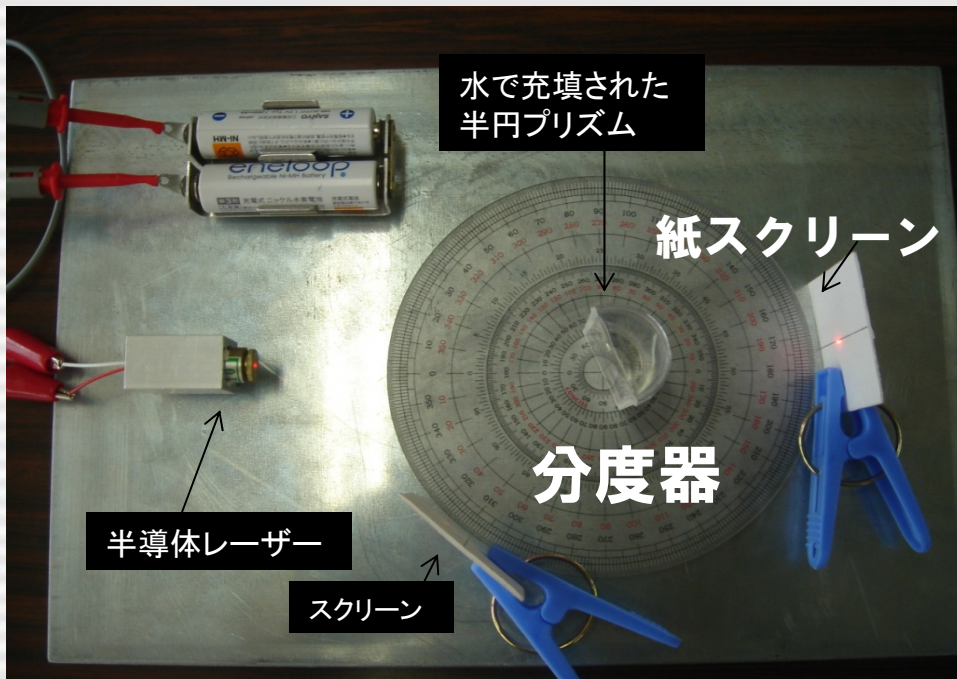
実験目的

- レーザー光源を用いて、光の屈折現象を観察する
- 入射角と反射角、屈折率の関係を調べる

実験セットアップ

<実験器具>

・鉄板 ・光源（半導体レーザー $\lambda = 670\text{nm}$ ） ・電池2個 ・電池ホルダー ・リード線（2本） ・調整用マグネット ・半円プリズム ・クリップ2個 ・スクリーン（2枚） ・円周分度器



測定例

実験／反射と屈折

入射角 $\theta_1 [^\circ]$	360	350	340	330	320	310	300	290	280	
$\theta_1 [^\circ]$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
反射角 $\theta_r [^\circ]$	0	11.2	20.8	31	40	50	60	69.5	79.8	
$\theta_r [^\circ]$	0	11.2	20.8	31	40	50	60	69.5	79.8	
θ_1 / θ_r		0.892857	0.961538	0.967742	1	1	1	1.007194	1.002506	0.97898
屈折角 $\theta_2 [^\circ]$	180	172.3	165	158.5	151.1	144.7	139.3	135.2	132	
$\theta_2 [^\circ]$	0	7.7	15	21.5	28.9	35.3	40.7	44.8	48	
屈折率 n		1.296016	1.321465	1.364254	1.330049	1.325668	1.328068	1.333603	1.325209	1.328041
$\sin \theta_1 / \sin \theta_2$		1.296016	1.321465	1.364254	1.330049	1.325668	1.328068	1.333603	1.325209	
$\sin \theta_1$	0	0.173643	0.34201	0.499987	0.642772	0.766028	0.86601	0.93968	0.984801	
$\sin \theta_2$	0	0.133982	0.258812	0.366491	0.483269	0.577843	0.652083	0.704618	0.743128	

水の屈折率:

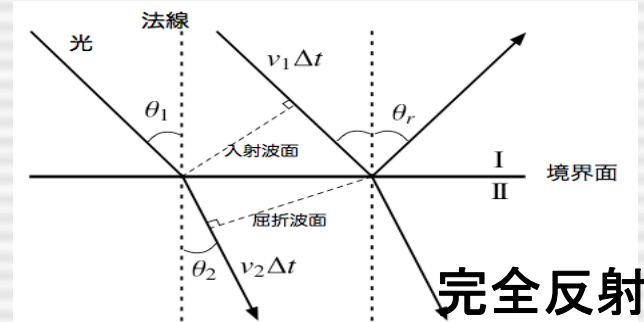
観測値=1.328

文献値= 1.3334(20°C)

曲がる光の観察、屈折・反射の数理解、多様な反射現象へ発展

スネルの法則

$$n \equiv \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$



PDL実験例(4)等電位線

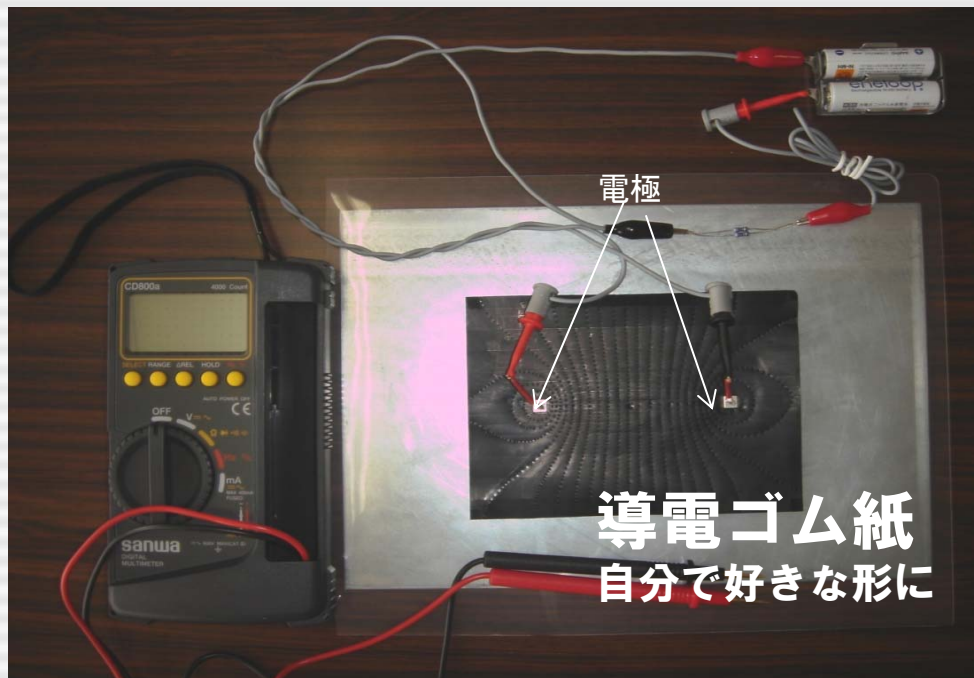
実験目的

- 面上の等電位曲線を確認し、
電流の方向および電流密度を知る。

実験セットアップ

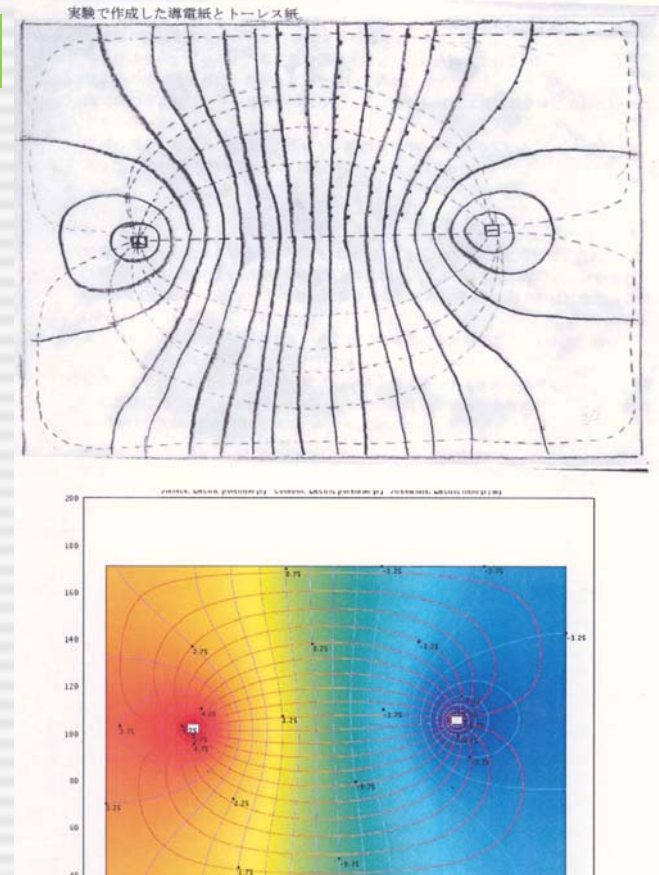
<実験器具>

・直流電源(約2.4V)・デジタル電圧計・導電板(導電ゴム)・電池・リード線・鉄板・電極用磁石・油性サインペン・トレース紙



測定例

実験結果



電位・電場の可視理解、電場のシミュレーション、複雑な電位分布へ発展

PDL実験例(5)熱電子放出

実験目的

- 蛍光表示管にて、熱電子放出を確認する

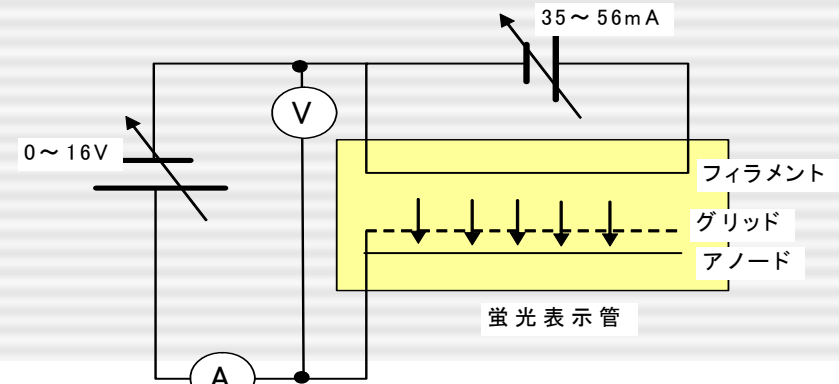
実験セットアップ

<実験器具>

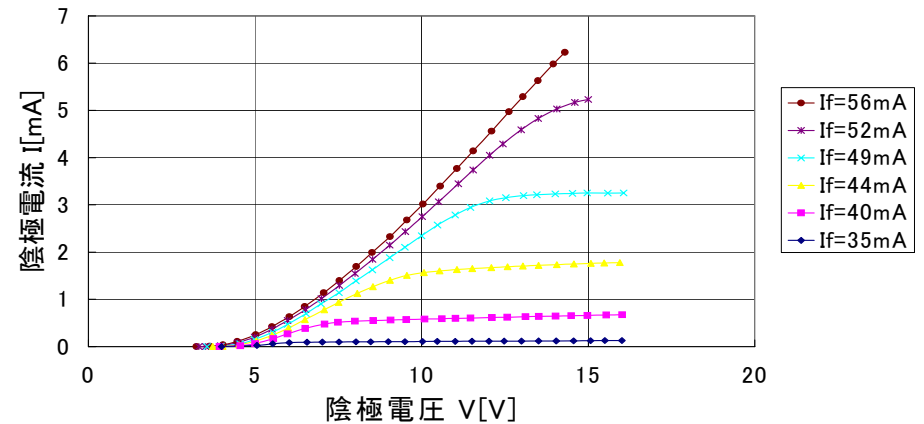
・DTM3台・蛍光表示管・光ダイオード・電源1.4V・リード線・負荷100Ω



測定例



フィラメント電流に対する V-I 特性

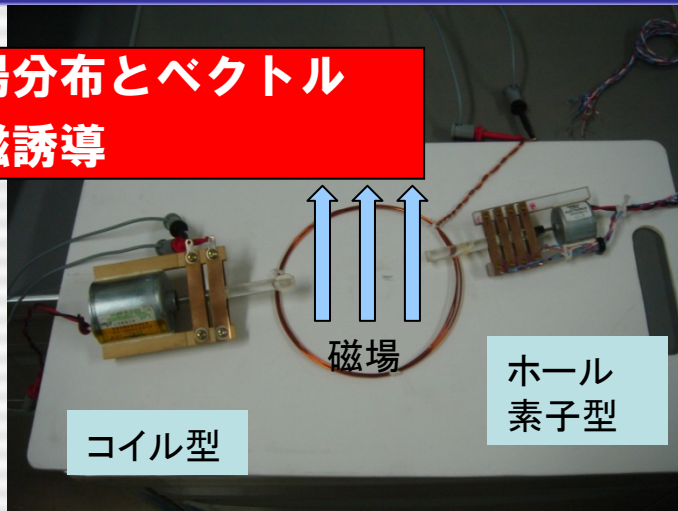


電子放出の確認、熱電子の数理的
理解、複数物質からの放出へ発展

開発中のPDL実験例

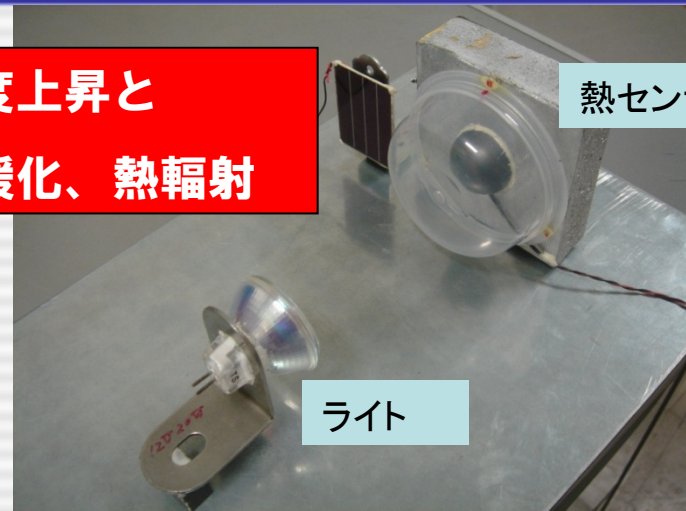
磁場測定器

磁場分布とベクトル
電磁誘導



太陽の輻射モデル

被覆温度上昇と
地球温暖化、熱輻射



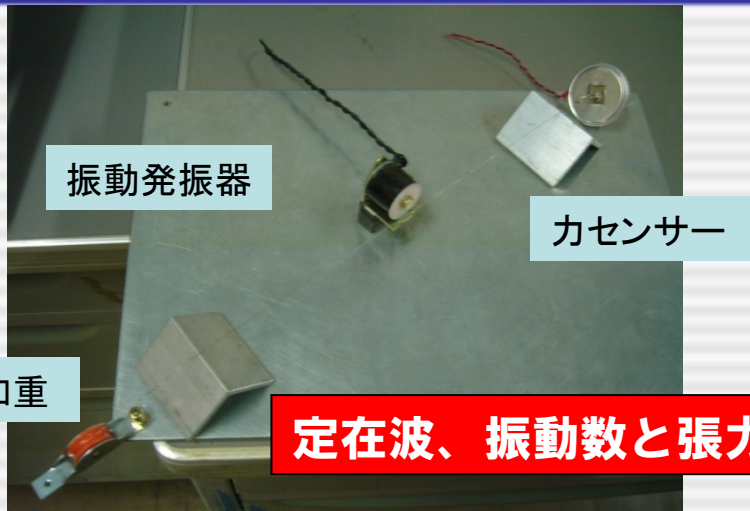
弦の振動

振動発振器

力センサー

加重

定在波、振動数と張力



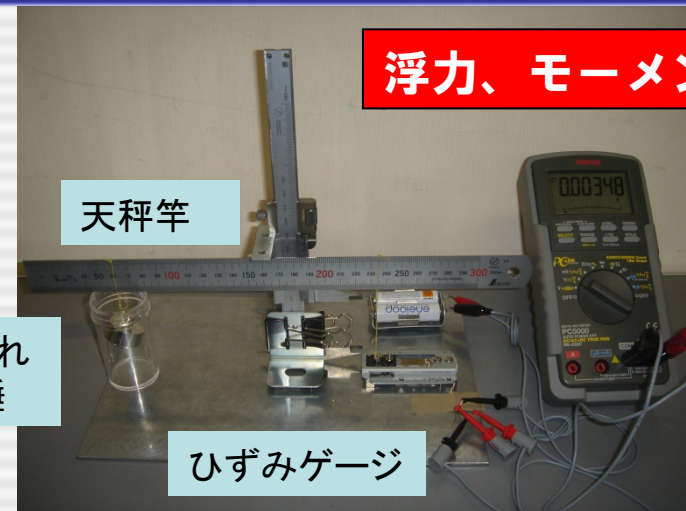
天秤と力の測定

浮力、モーメント

天秤竿

竿に吊るされ
た水中の錘

ひずみゲージ



PDL: 教育手法としての特性 1



実験室と講義室が融合した 新しい教育環境！

- 多数学生の一斉教育
+ ひとり一人の個人体験
→ コンパクトなPDL



- 勉強机が実験室

実験内容の講義
+ 学生個々への
適時指導



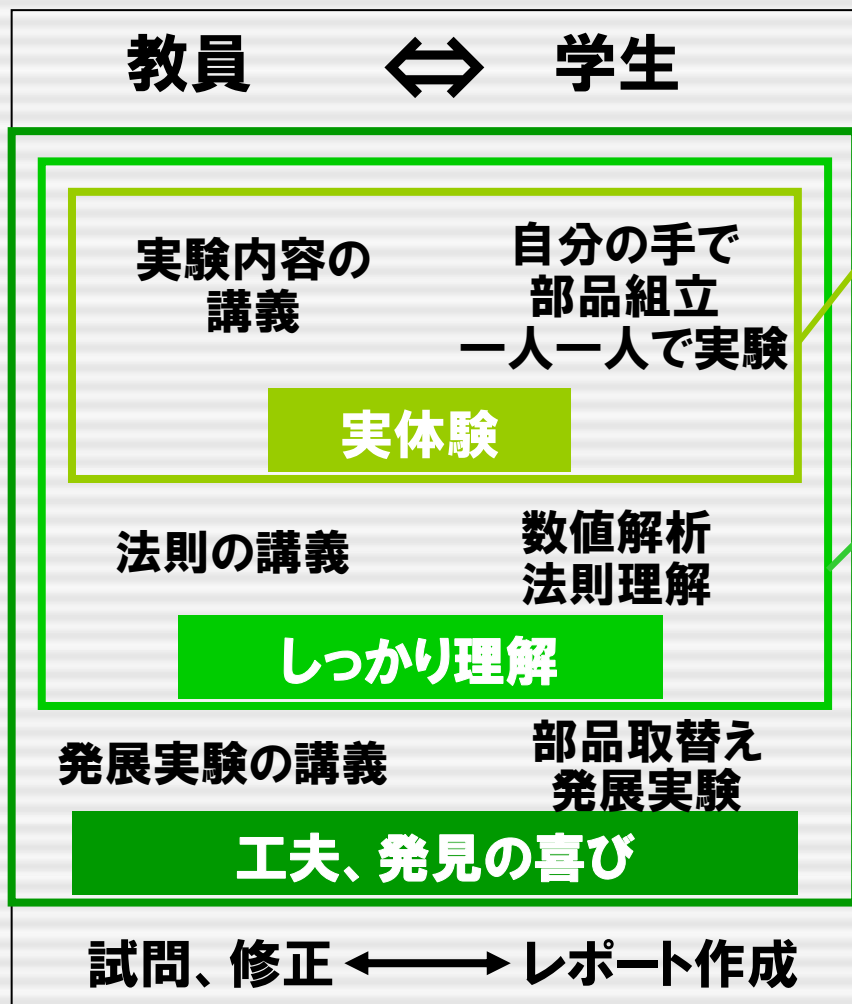
パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜



国立大学法人 千葉大学
National University Corporation
Chiba University

実験と講義の一体化 → 多様なレベルの学生教育が可能に



導入型実験

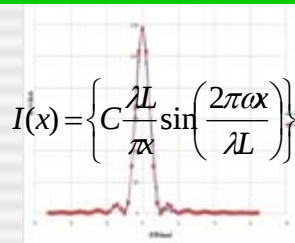


文系学生対象

- 現象に触れ興味を
- 「光は波である！」

1コマ/週

理解型実験

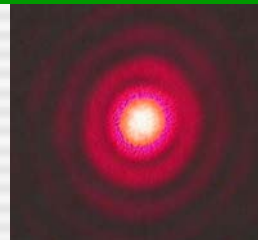


薬看園系学生

- 基本操作
- 測定の原理
- 法則の理解
- 「理論との対比」

3コマ/週

発展型実験



理工医系学生

- 創意工夫
- 現象の深い理解
- 「複雑な干渉効果」
- 「誤差の評価」

PDL: 文系クラス 例

●簡易なテキスト(回折干渉)

●現象に触れ、興味を

●光は波である

組立、実験

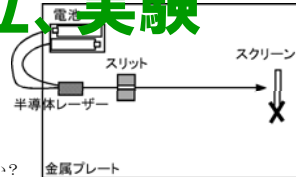
PDL 実験 (文系用) 「**光の性質を体験してみよう!**」

実験A 光の回折・干渉

組立、実験

準備: 右図のように装置を組み立てましょう。
レーザー、スリットの高さは小磁石で調整します。

注意: レーザー光を直接目に入れないこと!!



実験: ①スリット幅と像幅はどちらが大きいですか?

②スリットがない場合とある場合のスクリーン上の像を、下の欄にスケッチしましょう。

どことが違うでしょうか?

ない場合

スケッチする



解説:

波の回折



- ・半導体レーザー:
- ・回折: 波はまわりこむ
- ・干渉: 波は重ね合う

CD

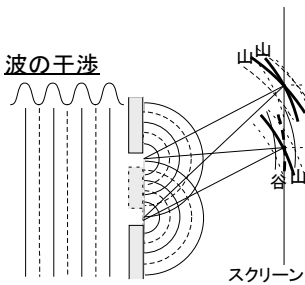
海岸と堤防

- ・「光は波である」

光通信

電波 (TV、携帯電話 etc) と仲間

波の干渉



解説する

携帯電話の話

光ファイバー

部品準備



解説



パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜



国立大学法人 **千葉大学**
National University Corporation
Chiba University

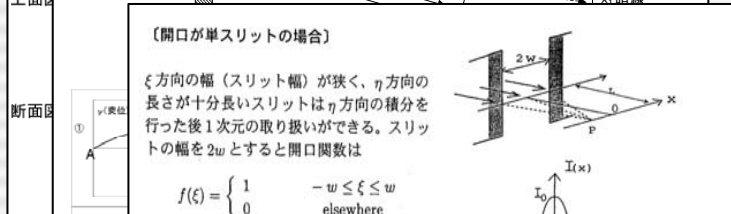
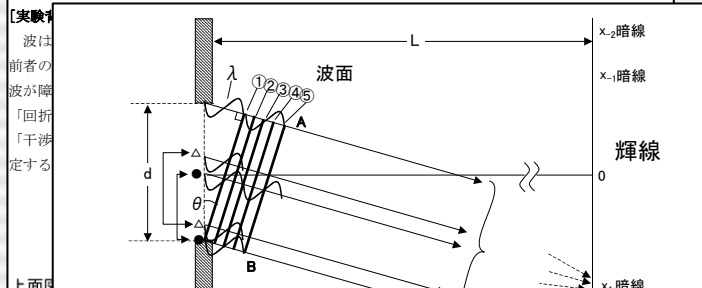
● 詳細なテキスト (回折干渉)

● 実験内容の講義

● 相談しながら解決

PDL 光の実験 (回折、干渉)

<注意: 以下の実験において、半導体レーザーの光が目に入らないように注意して取り扱うこと>



【開口が単スリットの場合】
 ξ 方向の幅 (スリット幅) が狭く、 η 方向の長さが十分長いスリットは η 方向の積分を行った後 1 次元の取り扱いができる。スリットの幅を $2w$ とすると開口関数は

$$f(\xi) = \begin{cases} 1 & -w \leq \xi \leq w \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

と表せる。また、スリットとスクリーン面との距離を L とする。求める像を Fig.2 の点 $O(x=0)$ の近傍に限定すると、 $r_0 = L$ (一定)

$$I(x) = \left\{ C \frac{\lambda L}{\pi x} \sin \left(\frac{2\pi w x}{\lambda L} \right) \right\}^2 = I_0 \left\{ \frac{\sin(Bx)}{Bx} \right\}^2$$

となる。さらに、強度 $I(x)$ は

$$I(x) = \left\{ C \frac{\lambda L}{\pi x} \sin \left(\frac{2\pi w x}{\lambda L} \right) \right\}^2 = I_0 \left\{ \frac{\sin(Bx)}{Bx} \right\}^2$$

この式が、スリット状開口の フランホーファー (Fraunhofer) 回折パターンを示す。とおいたときの $I(x)$ のグラフを Fig.2 に示す。

【実験】 以下、3 1. 単スリット

① 2 枚の鏡をくわいて

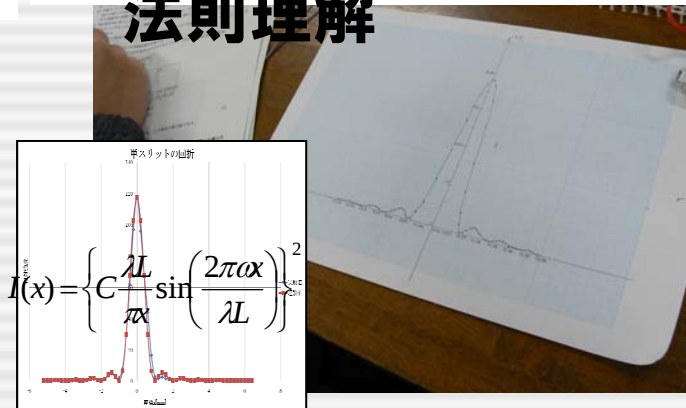
② 磁石を設置する。



● 個人の疑問を指導



● 数値解析、理論と比較、法則理解



講義・解説



実験

グループ
個別指導

解析
レポート作成

口頭試問・指導

原理・仕組の理解、分析法、
考え方、レポート書き方etc



実習的 (出席), 教育的 (not優劣)

S/A/B

後日 レポート提出(原理、測定仕組、解析、考察)

教員からの評価

教員のコメント

- 実験開始前の講義で
実験への導入が容易
- 全体の進度を調整しやすい
- 理解度のチェックがしやすい
- TAとの連携がとりやすい
- トラブルへの対応
- 新人でも担当容易、自宅FD可
- ×テーマ数が限られる
- △グループ実験も重要なので併用が望ましい

◎実験(50～80名クラス)=専任教員2名
(物理専門教員+部局教員)と工夫
+TA1名



教育水準維持
多面的評価
自部局学生の学習状況把握
専門教育への配慮可

取組実現までの道のり

黎明期 1994—（教養部改組）

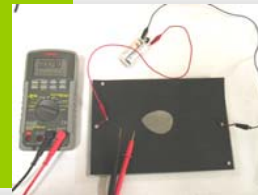
「実体験」重視実験教育への検討

試作 試運用

最新技術導入検討

（例：半導体レーザ、**小型**、**安価民生品**）

物理学教員集団（全学組織）



運用期 2002—

教科書作成

100名受講3テーマ開始→4テーマ

新PDLの検討、試作

国内外からの依頼



展開期 2007—

理系1100名＋文系200人へ拡大

新PDL実験の開発・実施

国内外への普及



本実験教育を支える全学組織

全学生

物理学基礎実験

約1100名

物理学 講義・演習

約8000名

普遍教育センター

物理学教員集団

約100名

理学部

教育学部

工学部

園芸学部

先進科学教
育センター等

高大連携

基礎教育策定:

総会(1回/年、FD、策定)

代表者会議(1回/月。報告情報共有)

コマ数の充実: 54→98コマ/年

安定な教育提供: 部局人事に非依存

教育水準維持: 実験=専任教員2名

物理専門教員+部局教員と工夫

27

5

55

2

10

集団教員数

TA優先確保、技術補佐員、実験室改修(H20予定)等

パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜



国立大学法人 千葉大学
National University Corporation
Chiba University

本特色GPでの計画

H19

H20

H21



試作品



新規PDLテーマ機器の開発・量産、テキスト作成、試行、FD

PDL [理系1100人+文系200人] の全学実施
(H20～)、学生・教員・外部アンケート評価



他大学・企業と連携、普及、再検討

PDL開発量産費1,200万円×3年、教材・TA・共同連携・推進費 800万円×3年

PDL個人一斉実験テーマ

→ 光(回折、偏光、屈折)、電位分布

磁場分布測定(電磁誘導、PDLオシロ)

弦の振動と回路(共振)

熱電子放出、熱輻射と熱容量

従来のグループ実験も併用

電気回路I、II、表面張力、ヤング率、剛性率、振り子による重力加速度、音速、比誘電率、
比電荷、放射線(α γ 線)、プランク定数 など19テーマ

パーソナルデスクラボによる実験教育の展開

H19大学教育改革プログラム合同フォーラム 2008.02.09 横浜



国立大学法人 **千葉大学**
National University Corporation
Chiba University

【教養基礎科学教育への貢献】



- PDL実験教育
装置＝コンパクト、安価
方式＝個人・一斉



スペース、経費、スタッフに
制約のある小規模・単科大学
の実験教育の活性化に
参考になると考えている

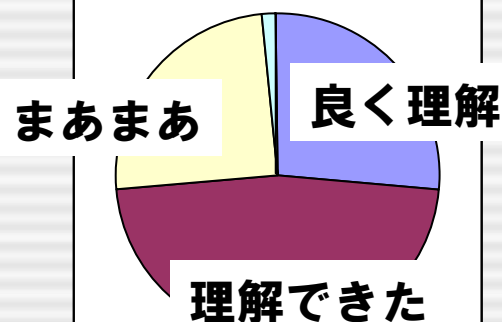
学生からのアンケート評価 1

従来実験と比べて (H18、96人)

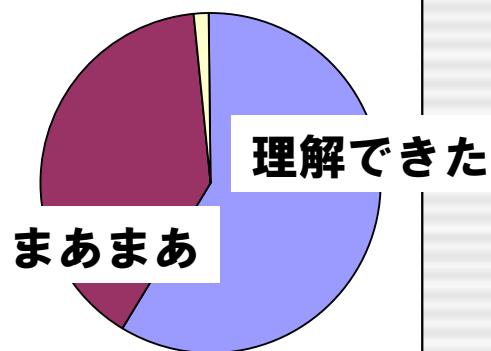
	視野がかなり 広がった	総合的に たいへん満足
従来実験	9%	13%
PDL実験	23%	20%

実験内容の理解 (H19、112人)

物理現象の理解



装置仕組の理解



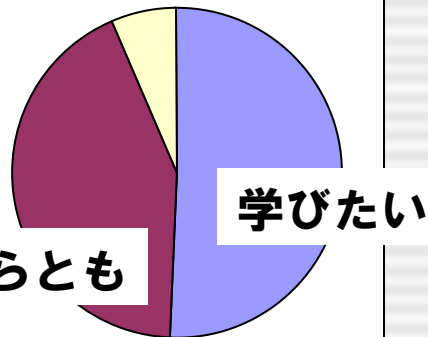
・板書や講義ではぴんとこないが、
実際に見ることで理解しやすくなった

●理解の割合は高い
・・・個人体験重視の効果か？！

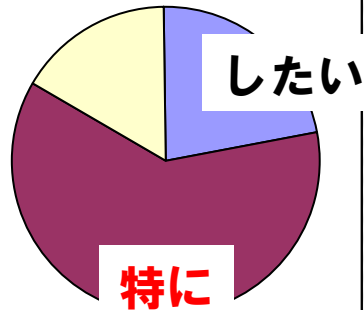
学生からのアンケート評価 2

学習への意欲 (H19、112人)

さらに物理学習



実験工夫したい

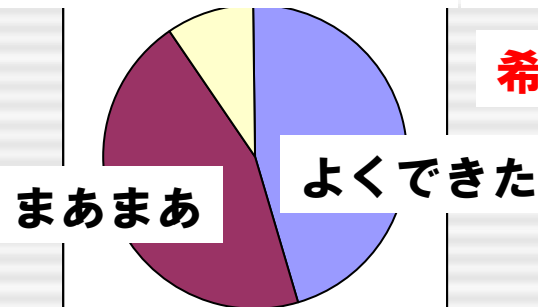


- ・自分で作った装置で確認でき、充実感あり
- ・自由になる時間に色々いじれて良かった
- ・もう少し時間が欲しかった

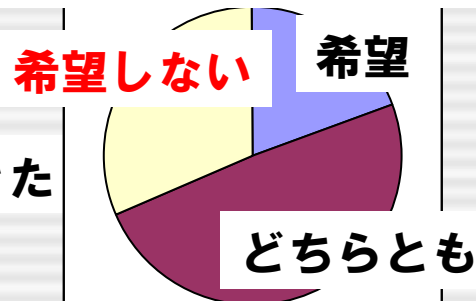
● **関心・意欲**を更に高める工夫必要
実験自由度の確保
教授方法の検討(FD) など

個人実験形態の評価

他学生と相談議論



他実験も個人型を希望



- ・友達やTAと相談しながら効率的に実験できた
- ・一人実験の方が自分で考えることが多く
ゆっくりできて役立った。増やして欲しい。
- ・個人実験だったので結構大変だった。疲れた。
緊張した。

● **導入を平易にする工夫が必要**
教育内容、テキストの検討
教授方法の検討(FD) など

本取組のまとめ

- 大学の教養科学実験教育の充実・展開をめざし
- コンパクトな新機器(PDL)の開発により
 - 体験(感動・工夫、組立の理解)を重視した
 - 適時指導が可能で、教育効率高い
 - 小型部品化・最新民生材料による
- **新しい教育環境(講義室+実験室の一体化)**を可能にした
学生レベルに合わせた、きめ細かい指導

個人実験
一斉実験
低コスト

文系学生(導入型)	科学に対する興味、感心
薬看園系(理解型)	しっかりした理解、先の勉強への意欲
理工医系(発展型)	創造の楽しさ、発見の目覚め

- 千葉大学の計画
 - 現在:PDL開発(8テーマ)
 - H20~4テーマ:全学対象(1300人)開始 → 系統評価・分析(レベル別)
工夫・改善・進化！！

