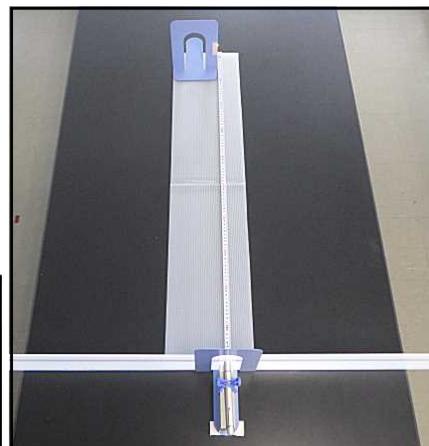
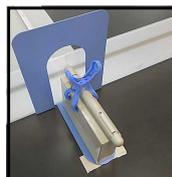


CD・DVDのトラックピッチ測定装置の製作

富山県総合教育センター科学情報部(理科教育室)

1. 目的

CDやDVDの記録面が色づいて見えるのは、記録面からの反射光が、回折・干渉するからである。そこで、干渉の明線の間隔からCDとDVDのトラックピッチを測定する。



2. 材料

- ・光ディスク (CD、DVD、BD)

次の①～⑥を準備すると違いがよく分かる。

- ①CD-R (650MB) ②CD-R (700MB) ③CD-ROM (650MB、プレス型)

※CDのトラックピッチの工業規格は、 $1.6 \pm 0.1 [\mu\text{m}]$ である。プレス型やCD-R (650MB) は $1.6 \mu\text{m}$ であるが、700MBは許容域下限 $1.5 \mu\text{m}$ である。背景として、CDの工業規格が1980年代に光ディスクとして初めて策定されたことにある。、当時はまだ技術・生産レベルが未熟であったため許容範囲が広く設定された。後に開発された700MBは、広く設定された許容範囲を逆手にとった製品であり標準的な規格ではない。

- ④DVD-R (4.7GB) ⑤DVD-ROM (4.7GB、プレス型)

※DVDのトラックピッチの工業規格は、 $0.74 \pm 0.03 [\mu\text{m}]$ である。

- ⑥BD-R (25GB)

※BDのトラックピッチの工業規格は、 $0.32 \pm 0.01 [\mu\text{m}]$ であり、可視光より短い。

ちなみに、本装置ではBDのトラックピッチは測定できない。比較用として使用。

- ・レーザー光源 (緑と赤の2本があると波長による比較ができてよい。)

赤 半導体レーザー ($\lambda = 635\text{nm}$ 、 650nm)、He-Neガスレーザー ($\lambda = 632.8\text{nm}$)
緑 半導体レーザー ($\lambda = 532\text{nm}$ 、 515nm)
青 半導体レーザー ($\lambda = 405\text{nm}$ 、 450nm 、 460nm) 等が市販されている。

※一般に赤レーザーポインタは3000～5000円程度、緑は5000～8000円程度で市販されている。なお、ネット通販では3本セット(赤、緑、紫)で2000円～3000円程度で販売されているものもある。学校指定の教材店に依頼すると少し割高になるが用意してくれる場合あり。



- ・PPプレート (俗称：プラダン)

ホームセンターでは $900 \times 1800 \times 4\text{mm}$ (3セット分)、半透明、800円程度

- ・透明梱包用テープ (例. カッター付50m、350円程度)

- ・マグネットシート（例. 300*200*1.2mm、強力タイプ、900円程度）
- ・洗濯ばさみ（2個）

（例. TRUSCO-Y型洗濯ピンチ20個入、400円程度/袋）

※光ディスクとレーザーポインタの固定に使用。

レーザーポインタを固定したときにスイッチが入るようにするために、ヒンジ部分に固めのスポンジなどを入れる。このスポンジ部分でレーザーポインタのスイッチを押す仕組みとする。



- ・セッティングメジャー 2個

（例. トラスコ中山セッティングメジャー1M TSM1301 400円程度）

◎安価に作成したい場合は、マスキングテープ・メジャータイプを用いるとよい。

100円ショップや通販サイトで販売。誤差は1mで1mm程度である。

- ・ブックエンド 2枚

（例. Mサイズ19.4*14*18.3cm、2枚1組、900円程度）

◎安価に作製したい場合は、100円ショップを利用

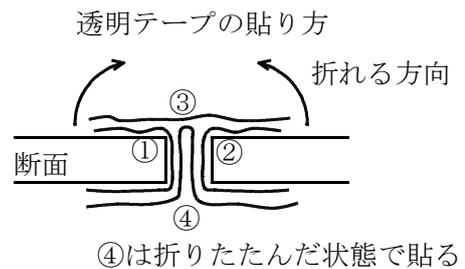
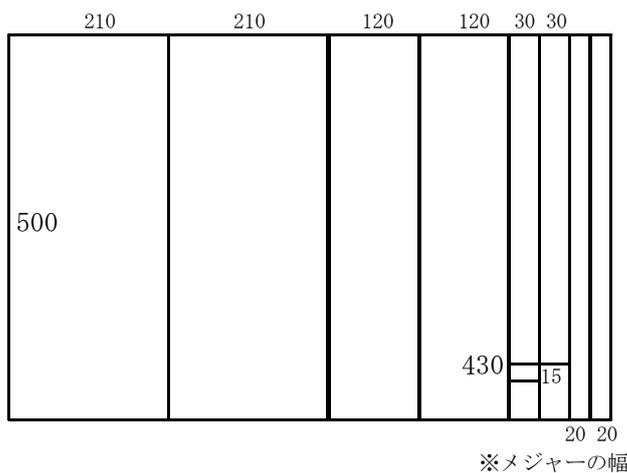
- ・工作用紙（A3）1枚、レーザーポインタを乗せる台用

- ・その他（付箋、マジック、両面テープ、はさみ、カッター、カッターマット、ハンだごて）

3. 製作

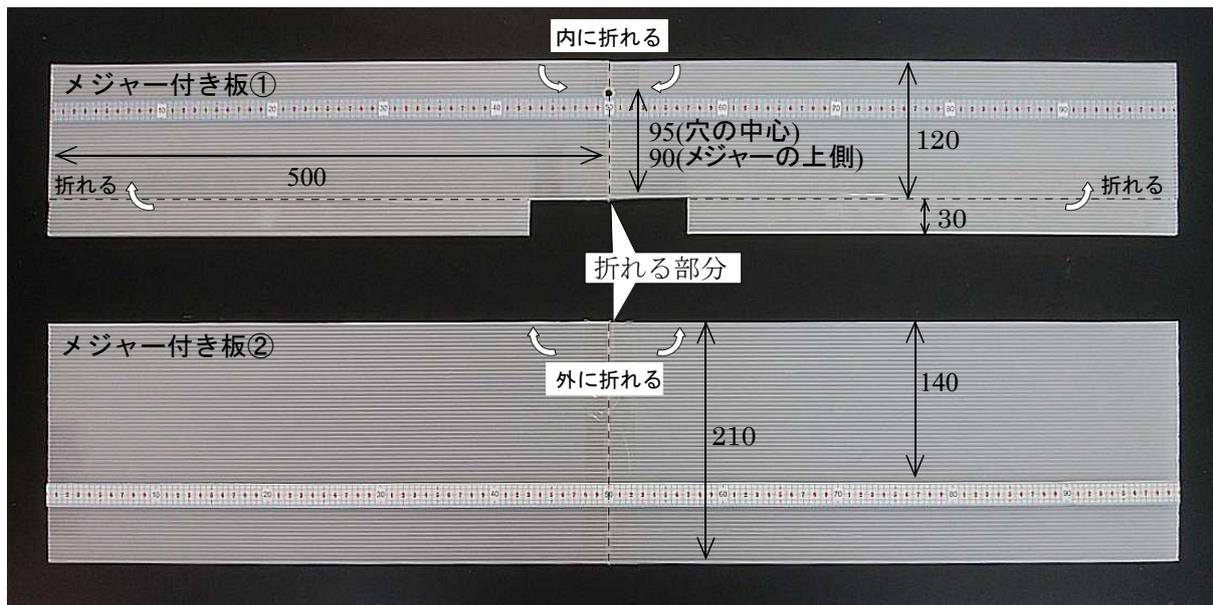
(1) メジャー付き板①、② ※装置を半分に折りたたみ収納しやすいように工夫

① PPプレート（俗称：プラダン）を寸法に従って切り出し透明テープで貼り合わせる。

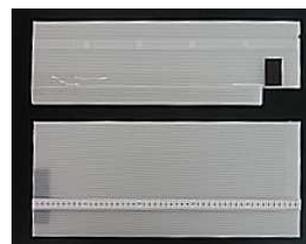
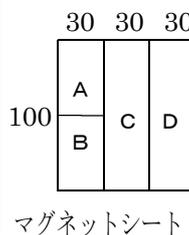
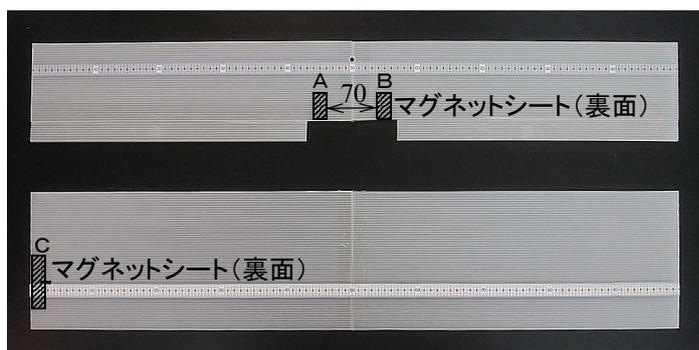


- ・装置は約1mのサイズとなるので、2つ折りにできるようにする。折れる方向は、板①がメジャーが内側、板②がメジャーが外側になるようにする。なお、折れる部分は一度、透明テープでくるんだ後に、再度折れるように、両側からテーピングする。
- ・次図を参考に、板①にメジャーを貼る（90mm）。また、板②にPPプレートに貼った1m

のメジャーを貼り、カッターナイフでメジャー50cmの位置で切断する。このとき、50cmで折れる位置になるようにする。板①の中央の所定の位置にハンダごてで穴をあける。



②マグネットシートを寸法に従って切り出し、板①、板②に貼る。



板①②を折った様子

※マグネットシートは、いずれも裏面に貼る。

(2) レーザーポインタの台

- 工作用紙(A3)から箱を作る。

※箱の大きさは任意であるが、レーザーポインタを乗せたときに、レーザーが照射されるように高さを決定する。全面を透明テープで貼り補強する。

- 上面の端にPPプレート (30*15*4mm) を貼る。

※PPプレート (30*15*4mm) を貼ることによってレーザーポインタが斜めになるがこれでよい。レーザーポインタの光軸は、筒に対して必ずしも平行ではないため、あえてレーザーポインタを斜めに設置した。平行調整は、ブックエンドの下に紙などを挟み調整する。

- マグネットシート(D)を裏面に貼る(PPプレート側)。

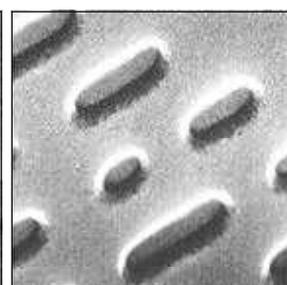
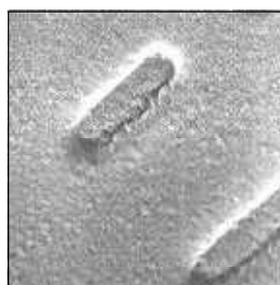
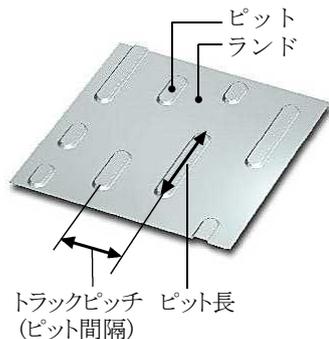
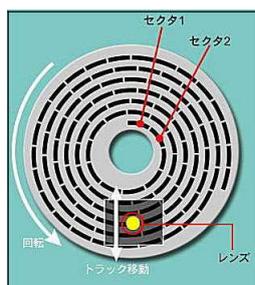


CD・DVDのトラックピッチの測定実験

1. CDやDVDの記録面の概要

記録面には渦巻状の1本のトラックがあり、そこには小さな出っ張り(ピット)が無数に連なっている。レーザー光はピットとランドから情報(デジタルデータ)を読み取っている。

- ・ピット … 小さな突起で、レーザー光の返りが弱い部分。
- ・ランド … ピットの無い平面部分で、鏡の役割を果たす。



CD DVD
(記録面の電子顕微鏡写真 映像: ©パイオニア)

CDとDVDのトラックピッチの違い

(工業規格)	トラックピッチ (有効数字は2桁)	最小ピット長
CD	$1.6 \pm 0.1 \mu\text{m}$ (1600nm)	$0.833 \mu\text{m}$
DVD	$0.74 \pm 0.03 \mu\text{m}$ (740nm)	$0.27 \mu\text{m}$
比較(CD/DVD)	約2.2倍	約3.1倍

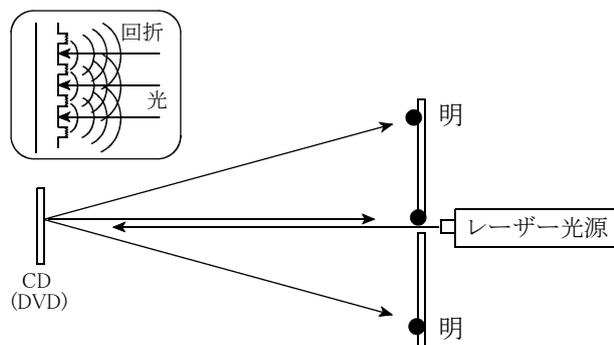
(参考) Blu-ray : $0.32 \pm 0.01 \mu\text{m}$ (320nm) ±は許容誤差(工業規格)

表より記録容量は、DVDの方が計算上、およそ $2.2 \times 3.1 \approx$ 約7倍大きくなる。
実際の記録容量も、工業規格からDVDが
CD : 650MB~700MB、DVD : 4.7GB (4700MB)
 $4700 \div (650 \sim 700) \approx$ 約7倍となる。

CDやDVDの回折

右図のようにせまいすき間(ランド)で反射したそれぞれの光は、回折をおこし、回折光は互いに干渉する。

このため記録面は色付いて見える。



2. 実験

(1) 準備

- ・光ディスク (CD、DVD、BD(比較のため))
- ・レーザー光源 (緑532nm、赤650nmを使用) ※失明する危険があるので、決して光を覗かないこと
- ・トラックピッチ測定装置

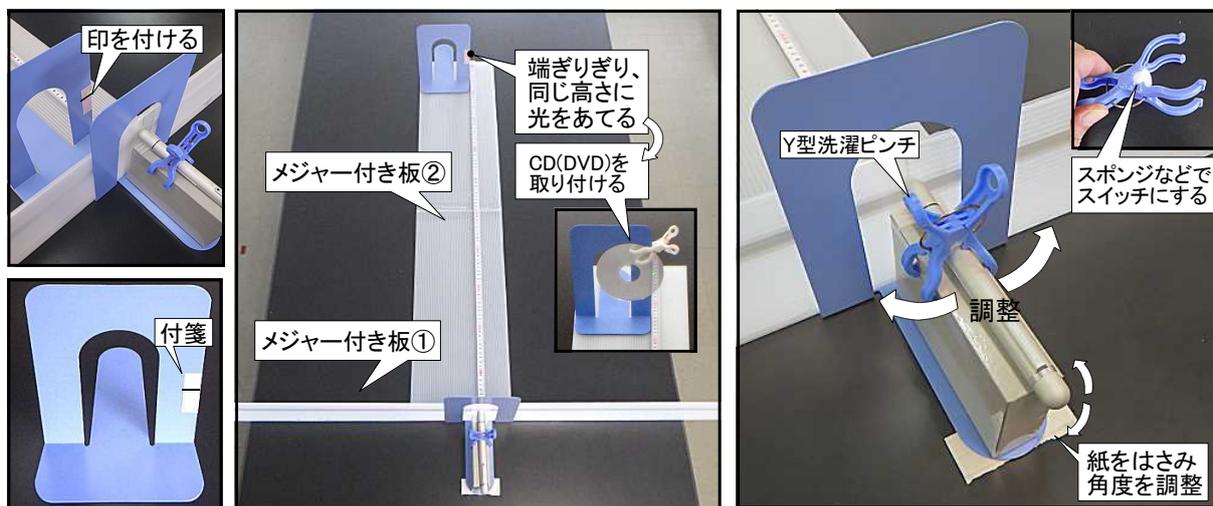
(2) レーザー光の光軸の調整

- ・メジャー付き板①②を直角に配置し、レーザーポインタを乗せ実験装置を組み立てる。
- ・レーザーポインタを調整し、レーザー光がメジャー付き板②のメジャーに沿うように、また高さが水平に照射されるようにする。

(調整方法)

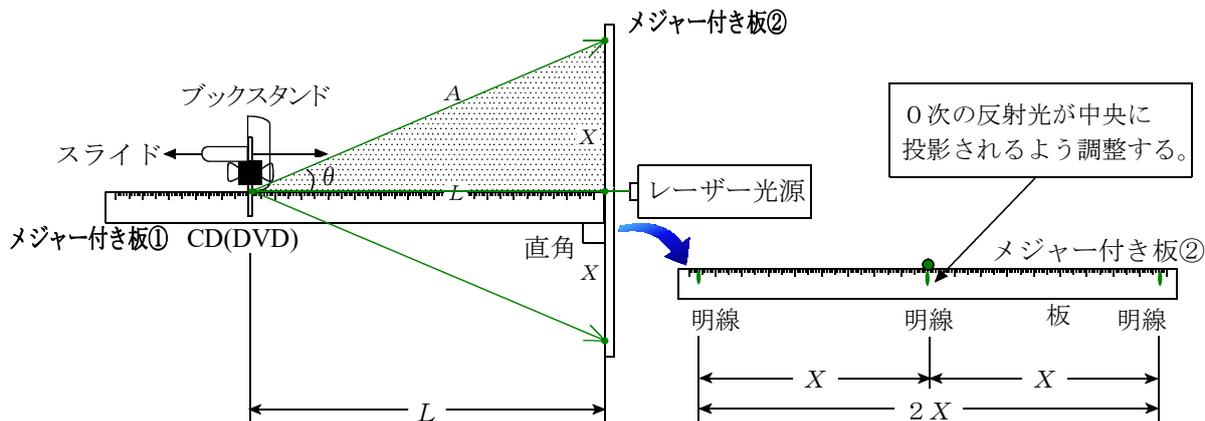
- ①レーザー光の高さを調整するために、まずブックスタンドの右端に付箋を貼る。
- ②レーザー照射口の近傍にブックスタンドを置き、レーザー光の高さに印を付ける。
- ③ブックスタンドを他端に立て、側面ぎりぎりにレーザー光が当たるようにする。
- ④レーザー光が水平に照射されるよう、レーザーポインタの角度を調整する。

※レーザーポインタの光軸は筒(フレーム)に対して必ずしも平行ではない。



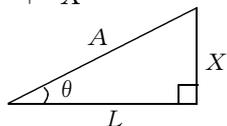
(3) 実験方法

- ・下図のようにレーザー光をCD(DVD)に照射する。反射光のうち0次(m=0)の明線が中央に、1次(m=1)の明線ができるだけ両端に投影されるようCD(DVD)の位置を調節する。
- ・メジャー付き板②からCD(DVD)までの距離 L [m] を測定する。
- ・0次と1次明線の間隔 X [m] を測定する ($2X$ を測定しその1/2から平均値 X を算出)。



(参考) 光ディスクのトラックピッチ d を求める計算

$$A = \sqrt{L^2 + X^2}$$



三角関数の定義より

$$\sin \theta = \frac{X}{A} = \frac{X}{\sqrt{L^2 + X^2}}$$

$d \cdot \sin \theta = m \lambda$... 式1 より、 $m=1$ の場合
トラックピッチ d は、 $d = \lambda \frac{1}{\sin \theta}$ となる。

よって

$$d = \lambda \frac{\sqrt{L^2 + X^2}}{X}$$

単位の換算 $\text{nm (ナノメートル)} = 10^{-9} \text{ m}$ $\mu\text{m (マイクロメートル)} = 10^{-6} \text{ m}$ ($1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$)

(4) 結果

※工業規格 CD:1.6±0.1[μm]、DVD:0.74±0.03[μm]と比較せよ。
--

光ディスクの種類	① CD-R (650MB)			② CD-R (700MB)		
レーザー光	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m
光ディスクまでの距離	L =	cm		L =	cm	
左側の明線までの距離	X1 =	cm		X1 =	cm	
右側の明線までの距離	X2 =	cm		X2 =	cm	
明線の平均距離 : (X2-X1)/2	X =	cm		X =	cm	

光ディスクの種類	③ CD-ROM (プレス型)			④ DVD-ROM (プレス型)		
レーザー光	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m
光ディスクまでの距離	L =	cm		L =	cm	
左側の明線までの距離	X1 =	cm		X1 =	cm	
右側の明線までの距離	X2 =	cm		X2 =	cm	
明線の平均距離 : (X2-X1)/2	X =	cm		X =	cm	

光ディスクの種類	⑤ DVD-R (4.7GB)			⑥ BD (25GB) ※比較のため		
レーザー光	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m	波長 λ =	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ μ m ※測定不能 - ×
光ディスクまでの距離	L =	cm		L =	cm	
左側の明線までの距離	X1 =	cm		X1 =	cm	
右側の明線までの距離	X2 =	cm		X2 =	cm	
明線の平均距離 : (X2-X1)/2	X =	cm		X =	cm	

(5) 考察

・ CDの記録容量に650MBと700MBがあるのはなぜか。トラックピッチの違いから考えよ。

・ BDの回折光が確認できないのはなぜか (BDのトラックピッチ320nmとレーザー光の波長を比較)。

(参考)

$$d = \lambda \frac{1}{\sin \theta}$$

$$d = 320\text{nm}$$

$$\lambda = 523\text{nm}$$

$$0 \leq \sin \theta \leq 1$$

実験結果の例

(4) 結果 ※工業規格 CD: $1.6 \pm 0.1 [\mu\text{m}]$ 、DVD: $0.74 \pm 0.03 [\mu\text{m}]$ と比較せよ。

※有効数字は3桁である。

光ディスクの種類	① CD-R (650MB)			② CD-R (700MB)		
レーザー光	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ
光ディスクまでの距離	$L =$	90.0 cm		$L =$	90.0 cm	
左側の明線までの距離	$X1 =$	18.1 cm	1.59 μm 工業規格と一致	$X1 =$	15.8 cm	1.50 μm 工業規格と一致
右側の明線までの距離	$X2 =$	81.9 cm		$X2 =$	84.2 cm	
明線の平均距離: $(X2 - X1)/2$	$X =$	31.9 cm		$X =$	34.3 cm	

光ディスクの種類	③ CD-ROM (プレス型)			④ DVD-ROM (プレス型)		
レーザー光	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ
光ディスクまでの距離	$L =$	90.0 cm		$L =$	45.0 cm	
左側の明線までの距離	$X1 =$	18.2 cm	1.60 μm 工業規格と一致	$X1 =$	3.6 cm	0.741 μm 工業規格と一致
右側の明線までの距離	$X2 =$	81.8 cm		$X2 =$	96.5 cm	
明線の平均距離: $(X2 - X1)/2$	$X =$	31.8 cm		$X =$	46.5 cm	

光ディスクの種類	⑤ DVD-R (4.7GB)			⑥ BD (25GB) ※比較のため		
レーザー光	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ	波長 $\lambda =$	(緑)532 nm	光ディスクの トラックピッチ ※測定不能 - ×
光ディスクまでの距離	$L =$	45.0 cm		$L =$	× cm	
左側の明線までの距離	$X1 =$	3.5 cm	0.740 μm 工業規格と一致	$X1 =$	× cm	× μm
右側の明線までの距離	$X2 =$	96.7 cm		$X2 =$	× cm	
明線の平均距離: $(X2 - X1)/2$	$X =$	46.6 cm		$X =$	× cm	

(5) 考察

・ CDの記録容量に650MBと700MBがあるのはなぜか。トラックピッチの違いから考えよ。

トラックピッチが違うからである。CDのトラックピッチは $1.6 \mu\text{m} \pm 0.1$ (1600nm) である。650MBは $1.6 \mu\text{m}$ であるが、700MBは $1.5 \mu\text{m}$ としてある。共に規格は満たしている。

・ BDの回折光が確認できないのはなぜか (BDのトラックピッチ320nmとレーザー光の波長を比較)。

光は電磁波の一種であり、可視光の波長は770nm(赤)～380nm(紫)程度である。

光ディスクの記録面に垂直に光を当てた場合、色が見える条件は式1で表される。また、三角関数 \sin は0～1の値を取るので $\sin\theta = m\lambda/d$ は0～1の値を取る。つまり λ と d の関係は、 $d \geq m\lambda$ となり、必ず $d \geq \lambda$ の関係が成り立たなければならない。

BDの場合、 $d = 320\text{nm}$ なので、 $d \geq \lambda$ を満足する波長 λ は320nm以下、すなわち紫外線領域となる。従って、光を垂直に入射した場合、可視光の領域では回折・干渉しないことが分かる。

$$d \cdot \sin\theta = m\lambda \quad \cdots \text{式1}$$

$$(m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \cdots)$$

d : トラックピッチ