

技報

# こまくさ

K O M A K U S A 発行:平成19年8月

第六号

都市部における Quick Bird データと  
AVIRIS データによる詳細な土地被覆分類  
—— 社会開発工学科 高木 直樹

垂直磁気異方性を有する  
極薄 SmCo 薄膜  
—— 情報工学科 武井 重人



信州大学  
SHINSHU UNIVERSITY

(財)信州大学工学部 若里会

## 目 次

技報「こまくさ」第6号の発刊にあたって	財団法人信州大学工学部若里会副理事長	北澤 文教	1
都市部における Quick Bird データと AVIRIS データによる詳細な土地被覆分類	社会開発工学科	高木 直樹	3
垂直磁気異方性を有する極薄 SmCo 薄膜	情報工学科	武井 重人	9
研究助成受領者名簿			14

## 技報「こまくさ」第6号の発刊にあたって

財団法人信州大学工学部若里会

副理事長 北澤 文教

技報「こまくさ」第6号にあたり、ご挨拶を申し上げます。

さて、当財団も昭和63年の発足以来20周年を迎え、又当財団と一体の信州大学工学部同窓会も2年後には60周年を迎えることになります。

当財団は、工学を基礎とした幅広い産業文化の発展に寄与することを目的とし、電気・機械・土木・建築・化学等に関する情報とこれに関連する産業振興の調査研究、長野県その他地域産業振興に関する図書および雑誌の発行等の事業を行うこととしており、本技報「こまくさ」もその一環として、平成14年以来発刊いたしております。又他に各種学術講演会の主催も共催し、先端技術の紹介を大学や官庁・企業に向けて行っております。

平成19年度当財団の事業計画は、本技報「こまくさ」第6号を発刊し、県内の公共機関および技術系企業に配布し、技術振興に役立てると共に県内高等学校にも配布し、進学指導の一助としております。また毎年開催されている長野県工業高校ロボットコンテスト大会「LOBOCON IN 信州」へ助成し、工業高校生の技術技能と学力向上を支援し、さらに、技術研究助成事業として、大学の教育・研究に携わる若手教員を対象としてその活動等を支援しております。その他、一般の方々にも参加していただける技術講演会の開催等を予定しています。

今後も、技報「こまくさ」の発刊をして参りたいと思いますので、皆様にはご支援・ご指導のほどお願い申し上げます。

終わりに、ご投稿を頂いた方々や編集にご尽力頂きました方々に感謝とお礼を申し上げご挨拶と致します。

又、前述の当財団と密接な関連のある信州大学工学部同窓会では、今後60周年事業を大学と共に検討して参る予定でありますので皆様方のご支援を重ねてお願い申し上げます。

(記 平成19年6月15日)



# 都市部における Quick Bird データと AVIRIS データによる詳細な土地被覆分類

## Detail land coverage analysis in urban area with Quick Bird and AVIRIS data

高木直樹、天野雄一朗、Alexander. F. H. Getz

信州大学工学部、四国電力（信州大学大学院修了生）、コロラド大学

2006年地球科学・リモートセンシングシンポジウム

2006年7月31日～8月4日

アメリカ合衆国コロラド州デンバー国際会議場

### 本文

#### 1. 研究目的

近い将来、日本においても高空間分解能、高波長分解能のハイパースペクトルデータが利用可能になると考えられ、その解析・利用方法の確立が望まれる。そこで、本研究は高空間分解能、高波長分解能のハイパースペクトルデータ AVIRIS を利用し都市域の詳細な植生図を試作し、精度の検証を行うことを目的とする。解析に使用したデータは米国コロラド州コロラド大学の CSES(Center for the Study of Earth from the Space)から提供を受けた、Boulder エリアのデータである。このデータを用い、実測調査を踏まえて解析・検討を行った。なお同時期・同地域の Quick Bird 衛星データを解析して、両データの相違についても検討を加えた。

#### 2. 解析データ

##### 2-1 AVIRIS と Quick Bird のデータについて

AVIRIS とは Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer の略で NASA が 1992 年から運用を始めた航空機搭載型のハイパースペクトルセンサーである。波長帯は 400～2500nm であり約 10nm 間隔に 224 バンドの周波数分解能を持つ。放射輝度は 0～32768 (15bit) の Digital Number(以下 DN) で表される。空間分解能は 3.6 m である。データは観測後にセンサー補正と幾何補正がされたのちに配布される。データの形状は南北方向に帶状であり、Boulder 市内を東西方向に 3 枚に渡って撮影している(図 1)。

高分解能衛星 Quick Bird は、バンド数がマルチスペクトル 4 バンドにパンクロマチック 1 バンドの計 5 バンドである輝度は 0～4096 (11bit) の DN で表さ

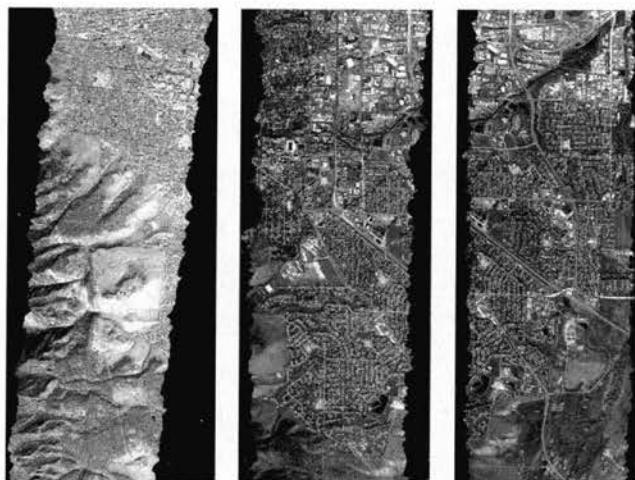


図 1 AVIRIS データ

れる。本研究では、画像中央座標が北緯 40.004。放射度、西経 105.2731 度の Boulder のデータを使用する(図 2)。

## 2-2 解析対象地域

実測・解析対象地域は商業地兼住宅地として Boulder The Hill 周辺(図 2(A))、緑地としてコロラド大学キャンパス周辺(図 2(B))、低層住宅地として Baseline 住宅地(図 2(C))、Manhattan 住宅地(図 2(D))

の合計 4 地域とした。データ観測日前 1 週間は降水がなかったため、降雨の影響はないものとする。グラウンドトゥルースは現地で行った植生調査により作成した実測植生図を参考にする。

## 2-3 補正

AVIRIS データは 3 日間にわたって撮影されたデータなので、大気補正と輝度補正を行った。また QuickBird データと位置を合わせるために、幾何補正を行った。

## 3. Quick Bird データによる緑被の抽出と植生分類

### 3-1 解析の流れ

現地調査をした上、観測データに対して土地被覆分類を行い、緑被、樹種、表面材被覆を抽出した。最初に分類カテゴリーをアスファルト、コンクリート、水域、芝生、樹木、住宅、建物(金属の屋根)、大学の建物(瓦)、土壤、岩石の 10 種類とした。解析に使用するバンドはバンド 1 から 4 および NDVI(式 1) の 5 バンドとした。

$$NDVI = \left\{ \left( \frac{X_{b4} - X_{b3}}{X_{b4} + X_{b3}} \right) + 1 \right\} \times 1024 \cdots \cdots (1)$$

( $X_{b3}$ :バンド 4 における DN     $X_{b4}$ :バンド 4 における DN)

### 3-2 最尤法による土地被覆分類

実測調査から教師データを作成し、最尤法により分類した。分類結果とクラスター解析の結果を比較して、同じカテゴリーに分類されたピクセルを抽出し、再度教師データを選定しなおした。解析結果から緑被(芝生、樹木)のみを抽出し、他のカテゴリーのピクセルはすべて DN が 0 になるように処理した(以下この過程のことを「マスクをかける」と記述する)。マスクをかけて抽出された緑被を Needle(針葉樹)、Grass(芝生)、Broad(広葉樹)、Autumnal(紅葉している樹木)に分類する。分類結果から Baseline 住宅地(C) を 100 × 100 ピクセルで切り出し(図 2(E))、AVIRIS との比較対象とする。Quick Bird による植生分類図を図 3 に示す。図 4 には住宅の裏庭など、目視による調査が不可能であるエリアを Quick Bird のパンクロマチック画像(PAN 画像)から植生を読み取り補足した実測植生図<sup>注1)</sup>を示す。



図 2 Quick Bird データ

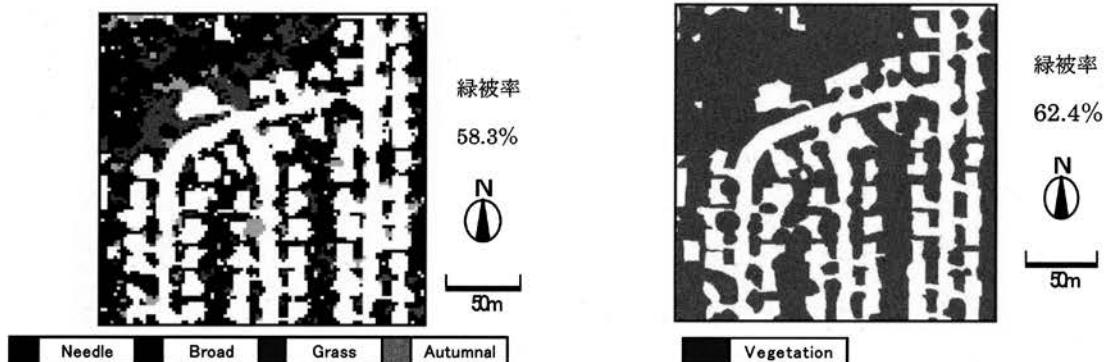


図3 Quick Birdによる住宅地植生分類図

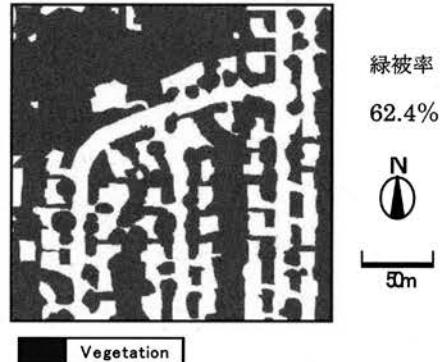


図4 実測植生図

表3 各カテゴリー別分類精度の比較 (左: カテゴリー4種類 右: カテゴリー6種類)

	実測面積(m <sup>2</sup> )	一致面積(m <sup>2</sup> )	一致率(%)		一致率(%)
Needle	4516	1675	37.1	Needle	34.7
Broad	31216	19822	63.5	Cotton	15.6
Grass	2517	1829	72.7	Maple	25.9
Autumnal	3953	1115	32.8	Willow	26.1
				Grass	60.2
				Autumnal	35.7

### 3-3 考察

Quick Bird を利用した土地被覆分類では、緑被率から細かな緑被の抽出が可能であることが分かる。しかし、植生分類図の緑被率が実測植生図に比べて 4.1%低い。これは軒付近の植生が抽出しにくいことや樹木や建物による陰影部分の植生が植生以外のカテゴリーに誤分類されたことに起因すると考えられる。6 種類の植生分類を試みたところ Broad の誤分類が多くなった(表 3)。バンド数が少ないために細かな植生分類は困難だと考えられる。4 種類の分類では Broad と Grass が高い一致率を示した。しかし Needle と Autumnal が 40%を下回っている。これは 10 月の時点では Broad と Autumnal の植生の状態が一部類似していることや陰影の影響が上げられる。

## 4 AVIRIS データによる緑被抽出と植生分類

### 4-1 最尤法による緑被の抽出

土地被覆分類を行い、植生以外に分類されたピクセルにマスクを掛け、詳細な解析を行った。最初に最尤法による緑被マスクの作成を試みた。分類カテゴリーは 3 章の解析に準じた。解析に使用するバンドは AVIRIS のバンド 1~70 と水蒸気の吸収帯 1100 nm 付近の影響を考慮したバンド 71~99 の合計 100 バンド<sup>9)</sup>とした。教師データを実測調査から各カテゴリー 150 ピクセルずつとり、最尤法により分類した。Quick Bird の解析手法と同じように教師データを選定しなおし、再度最尤法で分類した。そして AVIRIS の NDVI 算定式をバンド 29 と 51 (中心波長 : 645.38nm、826.67nm) から作成した。NDVI の DN が各カテゴリーのスペクトルの平均 DN(2000 前後)に近い<sup>注2)</sup> 0~4096 に収まるように算出した値を整数化した (式 2)。

$$NDVI = \left\{ \left( \frac{X_{b51} - X_{b29}}{X_{b51} + X_{b29}} \right) + 1 \right\} \times 2048 \quad \cdots (2) \quad (X_{b51}: バンド 51 における DN \quad X_{b29}: バンド 29 における DN)$$

分類結果と作成した NDVI を比較し、NDVI の DN が 2048 以上になる部分、かつ緑被に分類されたピクセルを植生として抽出した。住宅地を  $100 \times 100$  ピクセルで切り出し実測植生図と比較した（図 5）。緑被率は詳細緑被マスクのほうが 4.8% 大きい。これは緑被の抽出の際に樹木の陰になっているアスファルトなどが植生に誤分類された結果と考えられる（図 5 円）。

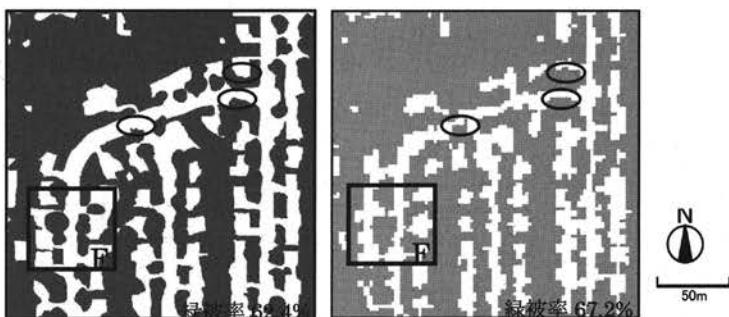


図 5 Baseline 住宅地における実測植生図と詳細緑被マスク  
(左 : 実測植生図 右 : 詳細緑被マスク)

#### 4-2 スペクトルの分光特性と SAM 分類

物質は固有のスペクトルを持っているが、AVIRIS データはそのバンドの多さから物質の連続したスペクトルを把握することができる<sup>9)</sup>。そこで今回は SAM 分類（Spectral Angle Mapper Classification）<sup>11)</sup>で植生を分類した。植生調査から占有面積の大きい植生を調べて分類のカテゴリーを Grass(芝生)、Needle-Leaf(針葉樹)、Ash(トネリコ)、Willow(ヤナギ)、Maple(カエデ)、Cotton tree(カポック)、Elm(ニレ)、Soil with Grass(芝生と裸地の混合)、Soil without Grass(裸地とまばらな芝生)の 9 種とした。実測調査の結果をふまえ、明らかにそのカテゴリーと考えられるピクセルを AVIRIS のデータから抽出して教師スペクトルを作成した。そして、個々のスペクトル特性を把握する。

教師スペクトルとして、抽出した緑被に対して閾値 0.2 を使用し SAM 分類を行った。水蒸気や CO<sub>2</sub>による吸収帯域は解析に使用せず<sup>3)</sup>、Band1~99、127~145、171~224 の合計 171 バンドを解析バンドとした。次に、作成した土地被覆分類図から住宅地を  $100 \times 100$  ピクセルで切り出し（図 2(E)）各カテゴリー別の詳細分類図<sup>4)</sup>を作成した。結果を図 6 に示す。

#### 4-3 考察

図 6 は Grass、Soil with Grass、Soil without Grass の 3 種類の分類図である。実測植生図と比較すると、AVIRIS、Quick Bird とともに住宅前の芝生などの細かな植生を抽出することが可能であった。実測植生図と AVIRIS の分類図を比較すると Soil with Grass と Soil without Grass に分類の相違がある。これは植生の活性度の違いによるものだと考えられる。可視域以外の波長帯<sup>12)13)</sup>が関係してくるため植物の状態を実測の際に目視判別するのは難

しい。AVIRIS データからは分類だけでなく緑被率変化に伴う反射特性や芝生の活性度を把握することができる。植生の実測調査時は、枯れ芝を少量含む地表面は裸地と判別したが、AVIRIS による分類では、この地表面は植生として分類されている。このように目視による実測では把握できない植生の状態もスペクトルから定量的に判別できる。

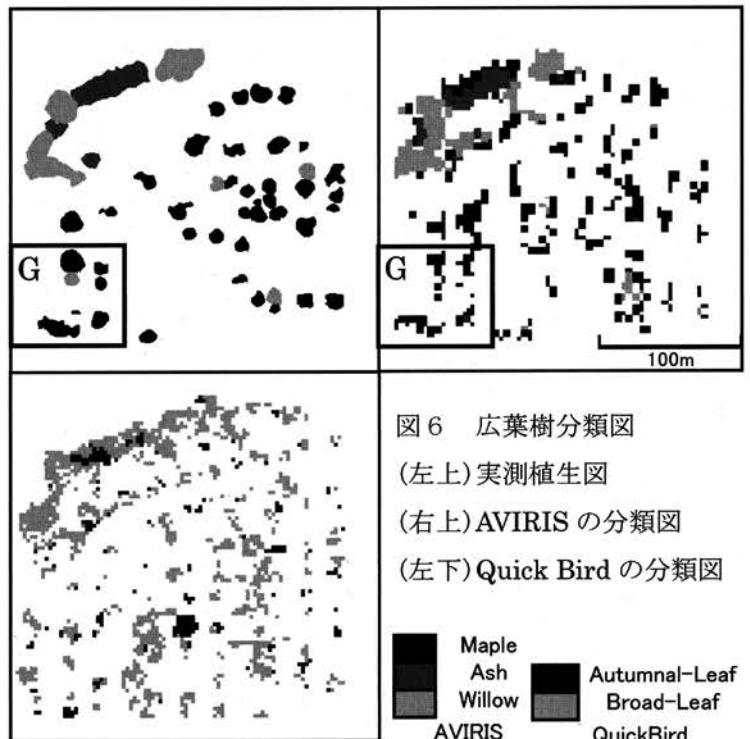


図 6 広葉樹分類図  
(左上) 実測植生図  
(右上) AVIRIS の分類図  
(左下) Quick Bird の分類図

## 5. 結論

本研究では高分解能・高波長分解能データ AVIRIS を使い、ハイパースペクトルデータの解析による詳細な植生分類を試みた。これにより以下の知見を得た。

(1) 植生抽出精度に関しては AVIRIS では都市域の数m四方の小さな植生を抽出することができる。また Quick Bird に比べ若干多く緑被が抽出されたが、これは陰影による影響であると考えられる。

(2) Quick Bird では植生を 4 種類に分類した場合の精度が良好だった。これ以上の種類で分類を行うと、分類精度が低くなることが確認された。AVIRIS では 9 種類全てを分類するのは難しいが、数種類においては高い一致率を得ることができた。また、ハイパースペクトルデータを利用することにより、マルチスペクトルデータでは詳細を把握できなかつた植物の状態についても把握できることを確認した。

(3) スペクトル角から類似度を判定し分類する SAM 分類による植生分類を試行した。その結果樹冠の抽出は可能であったが、幾何補正の際に、リサイズレーベルを内挿する過程でスペクトルの変化があり、樹冠辺縁部での誤判別が多くなった。データ補正の際にこれを減らす手法の確立が求められる。

## 注

- 注 1) 地上実測調査は 2003 年 10 月中旬に行った。調査項目は植生の種類、地上被覆物の材質分類であった。同時に分光放射計を使用し各材質のスペクトルを調査した。
- 注 2) NDVI の計算結果があまりにも低かったり、高かったりしないように、2000 前後の値に収まるよう変形したことを示している。
- 注 3) 図 3 より、水蒸気、CO<sub>2</sub>の吸収帯の DN は 0 に近い (Band100~126, Band146~170)。本来ハイパースペクトルを解析に使用する際には、コロラド大学 CSES が開発した大気補正プログラム

ATREM(参考文献 16)などを使用し、吸収域の補正を行う必要がある。これにより地上で分光放射計により測定したスペクトルと比較することができるが、今回は教師スペクトルを AVIRIS のデータ上から取ったために、吸収帯による大気補正が不要である。

- 注 4) A, B, D それぞれの地区に対しても C と同じ解析を行ったが、4 地区分を全て表記すると冗長になってしまうため、今回は C 地区のみを本文中で詳細に記述した。なお、A, B, D 地区においても同様の結果が得られている。また、解析結果の考察を 100×100 画素で行っているが、これは詳細に実測調査を行った中心の範囲を取り上げたためである。本論文では、これ以上広い範囲で考察すると図が分かりにくくなるということを考慮した。
- 注 5) 本研究は日本建築学会環境系論文集、第 590 号、p49-55、2005 を加筆修正したものである。

#### 参考文献

- 1) 長野市、「長野市緑を豊かにする計画」算定の基礎調査、1996. 2
- 2) 小泉千絵子他：高分解能衛星画像を用いた都市に緑被率推定、日本リモートセンシング学会第 31 回学術講演会論文集, pp. 9-10, 2001. 12
- 3) 小泉圭吾、高木直樹：リモートセンシング技術を用いた都市内緑被の把握、日本建築学会計画系論文集, No. 552, pp. 85-92, 2002. 2
- 4) 小松義典、梅干野晃他：GIS とリモートセンシングを利用した都市環境計画支援（その 4 住宅地の緑被分布詳細図の作成）、日本建築学会学術講演梗概集（陸）D-1, pp. 567-2002. 8
- 5) 小松義典、梅干野晃他：GIS とリモートセンシングを利用した都市環境計画支援（その 5 里山の樹種分類アルゴリズム、その 6 紹密植生図の作成），日本建築学会学術講演梗概集（東海）D-1, pp. 583-586, 2003. 9
- 6) 梅干野晃、水田敏也：航空機 MSS データによる都市の緑被分布抽出その 3 (マルチテンポラリデータによる緑の実態把握), 日本リモートセンシング学会第 13 回学術講演会論文集, pp. 141-144, 1992
- 7) 田口芳樹、高木直樹他：高分解能衛星を用いた市街地アルベドの解析、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 147-156, 2003. 6
- 8) D. A. Roberts etc. : 1993, Green Vegetation, NonPhotosynthetic Vegetation, and Soils in AVIRIS Data, : Remote Sensing of Environment, v. 44, pp255-269
- 9) Robert O. Green etc. : Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible /Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), REMOTE SENS. ENVIRON, No. 65, pp227-248, 1993
- 10) George F. Hepner etc. : Investigation of the Integration of AVIRIS and IFSAR for Urban Analysis, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No. 8, 1998. 8
- 11) Kruse, F. A., Goetz, A. F. H. etc., 1993, The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data: Remote Sensing of Environment, v. 44, pp145-163
- 12) 吉村晴佳：葉齢による樹葉の近赤外域分光特性と重なり効果、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 18, No. 1, pp. 42-56, 1998
- 13) 伊藤健吾、大槻恭一他：分光反射特性を用いた植生の植被率と活性度の分離、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 16, No. 4, pp. 41-49 1996
- 14) 尹敦奎、梅干野晃：都市域における画素内緑被抽出のための指標、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 18, No. 3, pp. 4-16 1998
- 15) 沖一雄他：ハイパースペクトルデータによる画素内特定被覆率推定に関する研究、日本リモートセンシング学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 17-33 2002
- 16) CSES, Atmospheric REMoval Program, ver1.1, Colorado Univ, 1992

垂直磁気異方性を有する極薄 SmCo 薄膜  
Thin SmCo film with perpendicular magnetic anisotropy

氏名：嘉藤 勇，武井重人，劉 小晰，森迫昭光

所属：信州大学 工学部 Spin Device Technology Center

発表会議名：磁気に関する国際会議 (ICM2006)

開催年月：2006 年 8 月 20 日(日)～25 日(金)

開催場所：京都府京都市 国立 京都国際会館

## 要旨

Ru 層を Sm-Co 層と Cu 層との中間層およびシード層に用いた Sm-Co/Ru/Cu/Ru 薄膜を作製し、結晶構造と磁気特性について検討を行った。この結果、Ru シード層によって Cu 層表面の粒子サイズと表面の平滑性を制御することができ、Ru 中間層厚を 5 nm 以上とすると垂直方向の保磁力が 10 kOe 以上の薄膜を形成できた。また垂直磁気異方性を有する Sm-Co 層を作製するためには Ru 中間層および Cu 層とともに作製する必要があることがわかった。

## 1. はじめに

磁気記録媒体は粒子サイズの微細化と粒間の交換相互作用を低減する薄膜プロセスの改善によって低ノイズ化と高分解能を実現してきた。しかしながら粒子の微細化は熱エネルギーに対する磁気エネルギーの減少を招くため磁化が不安定になる。このいわゆる熱揺らぎの影響を低減させるためには高結晶磁気異方性エネルギーをもつ磁性材料を磁性層に用いなければならない<sup>1)</sup>。この観点から我々は結晶磁気異方性エネルギー ( $K_u$ ) が  $10^7 \text{ J/m}^3$  以上であることが知られている SmCo<sub>5</sub> 合金に着目し<sup>2)</sup>、これまで面内磁気記録媒体用 Sm-Co/Cr 薄膜について研究した<sup>3), 4)</sup>。さらに面内磁気記録媒体よりも垂直磁気記録媒体の記録密度限界が高いと言われているため、Cu 下地層を用いて垂直磁気異方性を有する Sm-Co 薄膜の作製を試みた<sup>5)</sup>。この結果、100 nm 以上の Cu 下地層厚を基板温度約 40 °C (基板加熱なし)、Sm-Co 層を 300 °C として作製すると、(111)面に優先配向した Cu 下地層上に (001)面を有する SmCo<sub>5</sub> 層がヘテロエピタキシャル成長し、垂直磁気異方性を有する薄膜を作

製できた<sup>6)</sup>。この Cu 下地層厚は垂直磁気記録媒体として軟磁性裏打ち層を形成することを考慮すると、薄層化が必要である。また Sm-Co 層作製時の基板加熱によって Cu 下地層表面の粒子サイズが 300 nm 以上に巨大化し表面平滑性が失われた。このため粒子サイズを制御する必要があった。

ところで Ru は Cu と同様に fcc 結晶構造であり、(111)面をもつ Ru 層上へ SmCo<sub>5</sub> 層がヘテロエピタキシャル成長すると、ミスフィット比は約 7 % と小さい。また Ru 層を二層の磁性層間の中間層として用いると、磁性層間の相互拡散を防ぐ役割があることがこれまでに報告されている<sup>7)</sup>。そこで本研究では Ru 層をシード層ならびに Sm-Co 層と Cu 層の中間層として用い、この Sm-Co 薄膜の結晶構造と磁気特性について検討した。

## 2. 実験方法

Sm-Co/Ru/Cu/Ru 薄膜は同一チャンバー内で大気に晒すことなく連続してガラス基板上に作製した。チャンバー内の初期圧力を  $1\sim2\times10^{-6}$  Torr とした。Cu 層の作製には対向ターゲット式スパッタ

リング (FTS) 装置を用い, Ru 層の作製には DC マグネットロンスパッタリング装置を用いた。Cu 層と Ru 層の堆積速度はそれぞれ約 0.21 nm/sec. と 0.05 nm/sec. とした。Sm-Co 層の作製には DC マグネットロンスパッタリング装置を用いた。このとき堆積速度は約 0.23 nm/sec. であり, Sm-Co 層厚を 10 nm とした。積層中の基板温度は 350 °C とした。Sm-Co ターゲットとして Co 板上に 5 mm × 5 mm の Sm チップを配した複合ターゲットを用いた。チップ数は Sm-Co 層内の Sm 組成比が約 17 at.% となるように調整した。また酸化防止用の保護層として 2 nm の Ru 層を用いた。

### 3. 実験結果

図 1 は AFM を用いて測定した薄膜表面画像である。(a)～(c)の試料は作製後, 350 °C, 10 分間の熱処理を行っている。(a)Cu 薄膜の平均粒子サイズ, 表面粗さ  $R_a$  はそれぞれ 170 nm と 8.5 nm であった。これは過去に報告しているように薄膜作製後の熱処理によって薄膜表面で粒子が凝集することによって粒子サイズが増大化していると考えら

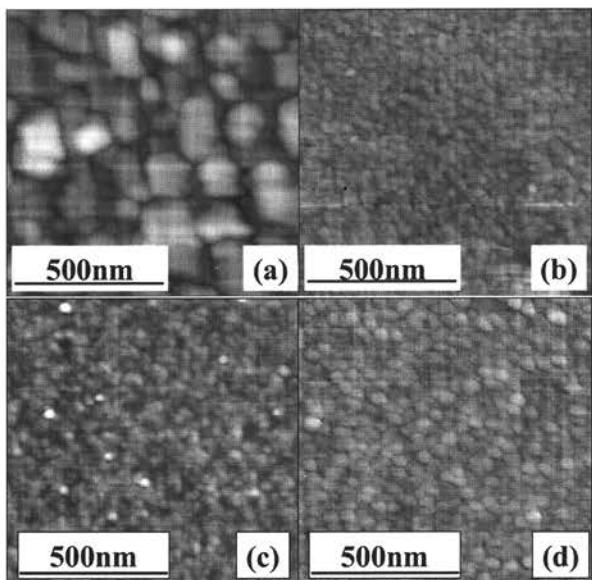


図 1. AFM 表面画像. (a) Cu (5 nm) 薄膜, (b) Ru (5 nm) 薄膜, (c) Cu (5 nm) / Ru (5 nm) / Cu (5 nm) 薄膜, (d) Sm-Co (10 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) / Cu (5 nm) 薄膜。

れる<sup>6</sup>。一方, 層厚 5 nm の Ru シード層上に Cu 層を作製した試料(b)の粒子サイズは約 31 nm,  $R_a$  は約 0.5 nm であった。これは Cr シード層を用いたときと同様, Ru シード層の表面形状が Cu 層表面の凝集制御効果によると考えられる<sup>8</sup>。(c) Ru/Cu/Ru 三層薄膜の表面構造は試料(b)とほぼ同等であり, Ru 上部層の表面形状は Cu 層の表面形状に影響を受けていることがわかる。(d) Sm-Co/Ru/Cu/Ru 薄膜の粒子サイズは約 37 nm,  $R_a$  は約 2.0 nm であった。この粒子サイズは層厚 200 nm の Cu 下地層上に Sm-Co 層を作製した場合<sup>6</sup>と比較すると, 粒子サイズはほぼ等しいものの下地層表面の凹凸が減少しているため, Sm-Co 層表面の平滑性が改善されていることがわかった。

図 2 に XRD ダイアグラムを示す。それぞれ(a) Sm-Co (10 nm) / Ru (10 nm) 薄膜, (b) Sm-Co (10 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜, (c) Sm-Co (10 nm) / Ru (5 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜である。Cu 層を用いない(a)の薄膜では Ru 層からの回折線が観察されるが, Sm-Co 層からの回折線は観察されなかつた。また(b)の薄膜では, 2θ が 43 度付近に Cu または Ru 層から強度が弱く半値幅の広い回折線と SmCo<sub>5</sub> (002) 面の回折線が観察された。SmCo<sub>5</sub> (001) 面の回折線強度は理論的に(002)面の回折線強度の 1/3 であり, さらに 25 度付近の基板からのブロードなノイズがあるため観察されなかつた。一方, (c)の薄膜では Sm-Co 層から SmCo<sub>5</sub> (001) 面および(002)面が観察された。他の回折線が観察されないことから Sm-Co 層は(001)面に配向していることがわかる。ロッキングカーブの半値幅から求めた Cu (111) 面と SmCo<sub>5</sub> (002) 面の  $\Delta\theta_{50}$  値はそれぞれ約 29 度と 25 度であった。これは Sm-Co 層内で c 軸が膜面垂直方向に対して分布が大きいことを示しているため改善する必要がある。これまでの研究から Sm-Co (40 nm) / Cu (200 nm) 二層薄膜では Sm-Co 層は Cu (111) 面にエピタキシャル的に成長していることがわかっている<sup>5</sup>。したがって SmCo<sub>5</sub> (001) 面の  $\Delta\theta_{50}$  値を減少させるには, Sm-Co 層の下地層となる Ru および Cu 層の配向度

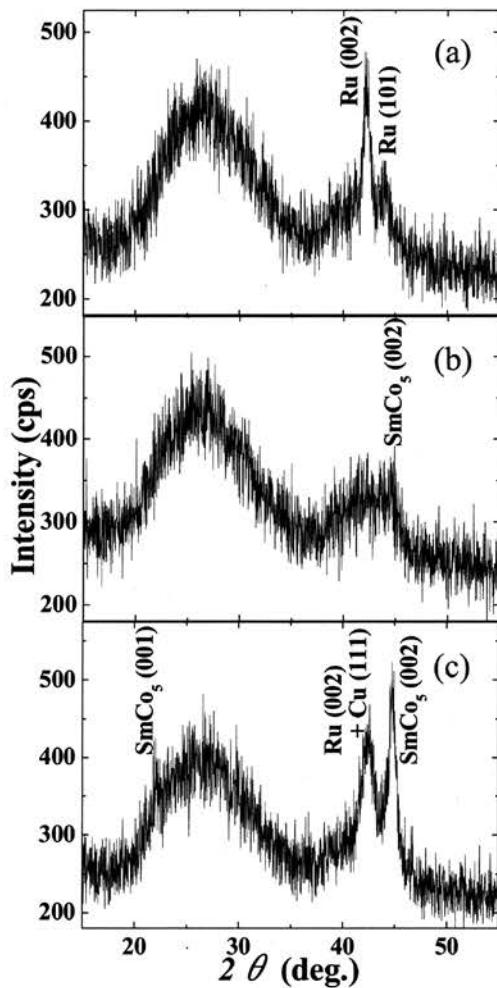


図 2. X 線回折ダイアグラム. (a) Sm-Co (10 nm) / Ru(10 nm) 薄膜 (b) Sm-Co (10 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜 (c) Sm-Co (10 nm) /Ru (5 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜.

を向上する必要がある。

図 3 は図 2 で用いた試料と同一試料のヒステリシス曲線である。測定に用いた VSM の最大印加磁界は 24 kOe である。 (a) の Ru 層上に Sm-Co 層を作製した場合では面内方向の残留磁化値が垂直方向の残留磁化値よりも大きいことから垂直磁化膜が形成されていないことがわかる。同様に Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 層上に作製した薄膜も垂直方向と面内方向の残留磁化値がほぼ等しく、垂直磁化膜を作製できなかった。一方、Ru (5 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 層上に Sm-Co 層を作製すると図 3 (c) の

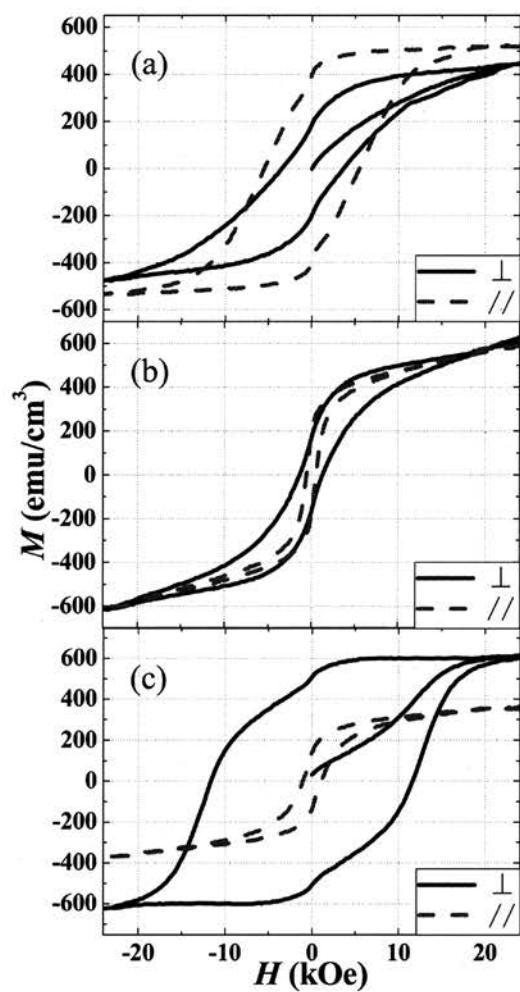


図 3. ヒステリシス曲線. (a) Sm-Co (10 nm) / Ru(10 nm) 薄膜 (b) Sm-Co (10 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜 (c) Sm-Co (10 nm) /Ru (5 nm) / Cu (5 nm) / Ru (5 nm) 薄膜。

ように垂直磁化膜を作製することができた。このとき垂直方向の保磁力と角形比はそれぞれ約 11.6 kOe と 0.82 であった。これから極薄 Cu 層上に垂直磁気異方性を有する Sm-Co 層を作製するには Ru 中間層が必要であることがわかった。ところで図 3(c)の垂直方向のヒステリシス曲線では残留磁化付近においてステップが観察される。Sm-Co 層厚を厚くするとステップの高さが小さくなることから、Sm-Co 層の初期層では十分に SmCo<sub>5</sub> 合金を形成せず軟磁性成分が存在していると考えられる。今後 Sm-Co 初期層の構造解析を行い、軟磁性成分

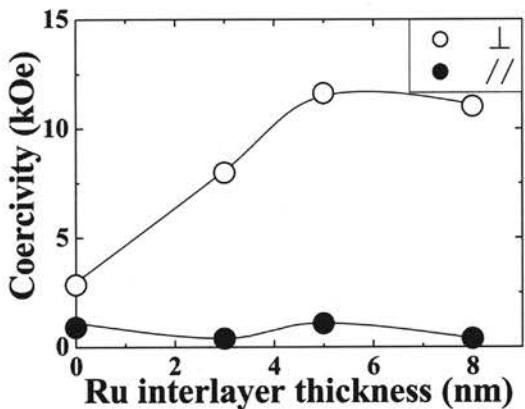


図4 保磁力のRu中間層依存性

を取り除く必要がある。

図4に保磁力のRu中間層依存性を示す。Ru層およびCu層厚は5 nm, Sm-Co層厚は10 nmとした。面内方向の保磁力はRu中間層厚にほとんど依存せず約0.5 kOeであった。垂直方向の保磁力はRu中間層厚が5 nm以下では層厚とともに増加傾向にあり、層厚が5 nm以上では10 kOe以上の値を示している。Sm-Co/Cu二層薄膜ではCu下地層が100 nm以上なければ垂直磁気異方性を有さず、また垂直方向の保磁力もCu層厚が100 nm未満では5 kOe以下であったのに対し、Ru中間層を用いることによってCu層厚が5 nmであっても垂直磁気異方性を有するSm-Co層を作製することができた。これまでのところRu中間層ならびにCu層がSm-Co垂直磁化薄膜を形成するために必要であるが、どのような役割を果たしているかはつきりしていない。今後、断面TEMや膜中の組成分布の測定を行って、層内構造を詳細に検討する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では極薄Cu層上に垂直磁気異方性を有するSm-Co層を作製するため、Ru層をシード層および中間層として用い、その効果について検討した。この結果、Ruシード層によってCu層表面の粒子サイズと表面の平滑性を制御することができ、Ru中間層厚を5 nm以上とすると垂直方向

の保磁力が10 kOe以上の薄膜を作製できた。また垂直磁気異方性を有するSm-Co薄膜を作製するためには、Ru中間層およびCu層をともに作製する必要があることがわかった。今後、Ru中間層およびCu層が垂直磁気異方性をもつSm-Co層へ果たす役割について詳細な検討が必要である。

#### 謝辞

本研究発表を行った国際会議への参加費および旅費の一部を財団法人信州大学工学部若里会より御援助いただきました。ここに深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) D. Weller and A. Moser, L. Folks, M. E. Best, W. Lee, M. F. Toney, M. Schwickert, J.-U. Thiele, and M. F. Doerner: *IEEE Trans. Magn.*, **36**, pp. 10-15 (2000).
- 2) T. Nagashima: *Handbook of Magnetism*, S. Chikazumi, K. Ota, K. Adachi, N. Tsuya, and Y. Ishikawa eds., p. 1121 (Asakura, Tokyo, 1982). (in Japanese)
- 3) S. Takei, Y. Otagiri, A. Morisako, and M. Matsumoto: *J. Appl. Phys.*, **85**, pp. 6145-6147 (1999).
- 4) S. Takei, A. Morisako, and M. Matsumoto: *J. Appl. Phys.*, **93**, pp. 7762-7772 (2003).
- 5) S. Takei, T. Uemizu, A. Morisako, and M. Matsumoto: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **28**, 364-367 (2004).
- 6) 武井重人, 上水孝徳, 劉小晰, 森迫昭光, 松本光功, 日本応用磁気学会誌, 29, pp. 227-230 (2005).
- 7) S. S. P. Parkin, N. More, and K. P. Roche, *Phys. Rev. Lett.*, **64**, pp. 2304-2307 (1990).
- 8) A. Morisako, I. Kato, S. Takei and X. Liu, *J. Magn. Magn. Mat.*, **303**, pp. e274-e276 (2006).



## 研究助成受領者名簿

平成 7 年度	橋本 佳男 清野 龍太郎 山本 佳志 石川 正昭 梅崎 健夫	電気電子 物質 生産システム 生産システム 物質	150,000	フランス
			100,000	ハワイ
			100,000	ハワイ
			150,000	カナダ
			100,000	中国
			600,000	
平成 8 年度	中村 正行 橋本 昌巳 川原 琢也 降旗 健治 曹 西 大久保慶治	生産システム 情報 情報 電気電子 社会開発 電気電子	150,000	フランス
			150,000	オーストリア
			150,000	ドイツ
			150,000	イギリス
			150,000	イタリア
			100,000	中国
平成 9 年度	大久保慶治 李 健 田中 伸明 伊東 一典 牛 立斌 邵 長城 榎 和彦 アサノ・デービット・ケン	電気電子 社会開発 物質 情報 生産システム 生産システム 生産システム 情報	135,000	メキシコ
			135,000	米国
			35,000	千葉県
			135,000	米国
			135,000	中国
			135,000	米国
平成 10 年度	萱津 理佳 北原 司 清水 茂 田中 清	情報 情報 社会開発 電気電子	135,000	フランス
			135,000	オーストラリア
			980,000	
			150,000	スロバキヤ
			100,000	中国
平成 11 年度	邵 長城 池田 清志 伊東 栄次 田中 清 田守伸一郎 武井 重人 和崎 克巳 中村 正行	機械システム 電気電子 電気電子 電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能	100,000	シンガポール
			100,000	インド
			450,000	
			115,000	米国
			115,000	フランス
			885,000	
平成 12 年度	川村 隆 松原 雅春 山口 朋浩	社会開発 機械システム 物質	150,000	イタリア
			150,000	米国
			150,000	米国
			450,000	
平成 13 年度	伊東 一典 海谷 治彦 榎 和彦 菅 博幸 高瀬 達夫 樽田 誠一 中屋 真司 牛 立斌 吉野 正人 和崎 克巳	情報 情報 機械システム 物質 社会開発 物質 社会開発 環境機能 機械システム 情報	120,000	米国
			80,000	中国
			120,000	ドイツ
			40,000	横浜市
			80,000	中国
			120,000	米国
			120,000	米国
			80,000	中国
			120,000	フランス
			120,000	ドイツ
平成 14 年度	西山 宗雄 辺見 信彦 清水 茂 池田 清志 降旗 建治	社会開発 機械システム 社会開発 電気電子 電気電子	1,000,000	
			150,000	スペイン
			90,000	韓国
			150,000	ポーランド
			150,000	米国
			690,000	米国
平成 15 年度	阿部 克也 錦織 広昌 海谷 治彦 高瀬 達雄 山口 朋浩 樽田 誠一 大久保慶治 野崎 功一 天野 良彦 榎 和彦	電気電子 環境機能 情報 社会開発 物質 物質 電気電子 物質 物質 機械システム	150,000	フランス
			50,000	奈良市
			110,000	米国
			100,000	韓国
			50,000	名古屋
			50,000	名古屋
			100,000	韓国
			50,000	三重県
			50,000	三重県
			760,000	大阪市

平成 16 年度	辺見 信彦 両角修四郎 千田 有一 伊東 栄次 和崎 克己 牛 立斌	機械システム 機械システム 機械システム 電気電子 情報 環境機能	150,000	ドイツ 千葉県 台湾 フランス 中国・香港 中国・上海
			50,000	
			100,000	
			150,000	
			100,000	
			100,000	
			650,000	
平成 17 年度	池田 清志 清水 茂 新村 正明 國宗 永佳 吉田 尚史 錦織 広昌 アギレ・エルナン	電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能 環境機能 情報	150,000	カナダ ポーランド オーストラリア オーストラリア 三重県 米国（ハワイ） イギリス
			150,000	
			100,000	
			100,000	
			50,000	
			150,000	
			150,000	
平成 18 年度	高木 直樹 武井 重人	社会開発 情報	850,000	米国 京都市
			150,000	
			50,000	
			200,000	

「技報 こまくさ」 第6号 平成19年8月発行  
(非売品)

発行者 財団法人信州大学工学部若里会  
〒380-8553  
住 所 長野県長野市若里4丁目17-1  
TEL (026) 266-8209 (FAX共有)  
E-mail : wakasat@gipwc.shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 カシヨ株式会社  
〒381-0037 長野市西和田1丁目27-9  
TEL (026) 251-0510

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複製すると、著作権及び出版  
権の侵害となる場合がありますのでご注意下さい。





(財)信州大学工学部 若里会