

量子センシング ハンドブック

量子科学が切り拓く新たな領域

■ 発行 2021年3月 ■ 体裁 B5判364頁 ■ 定価 本体40,000円+税
■ ISBN 978-4-86043-661-2 ■ Cコード C3042



※NTSサイトにて電子版の
試読(無料)が可能です。

量子技術の応用でもっとも産業化が早いと目されている 量子計測・センシング技術の最新研究を概観

概要
目次

序章 第二次量子革命における量子センシング	第3章 冷却原子を用いた量子センシング
第1章 スピン量子センシング	第4章 その他の量子センシング
第2章 光量子センシング	第5章 量子センシング理論

監修者 **根来 誠** 大阪大学 / 量子科学技術研究開発機構

執筆者

根来 誠	大阪大学 / 量子科学技術研究開発機構	山崎 雄一	量子科学技術研究開発機構	富永 雄介	京都大学	宗宮健太郎	東京工業大学
		水落 憲和	京都大学	武田 和行	京都大学	齊藤 志郎	日本電信電話(株)
八巻 徹也	科学技術振興機構 / 量子科学技術研究開発機構	白川 昌宏	京都大学	金田 文寛	東北大学	今田 裕	理化学研究所
		五十嵐龍治	量子科学技術研究開発機構	清水 亮介	電気通信大学	金 有洙	理化学研究所
波多野睦子	東京工業大学	藤原 正澄	大阪市立大学	枝松 圭一	東北大学	谷口 正輝	大阪大学
寺地 徳之	物質・材料研究機構	中台(鹿毛) 枝里子	大阪市立大学	三木 茂人	情報通信研究機構	井元 信之	東京大学 / 大阪大学
大島 武	量子科学技術研究開発機構	湯川 博	名古屋大学	山下 太郎	名古屋大学	藤原 彰夫	大阪大学
		馬場 嘉信	名古屋大学	高本 将男	理化学研究所	小野 貴史	香川大学
小野田 忍	量子科学技術研究開発機構	久保 結丸	沖繩科学技術大学院大学	香取 秀俊	東京大学	松崎雄一郎	産業技術総合研究所
				中川 賢一	電気通信大学		
				柴田 康介	学習院大学		
				平野 琢也	学習院大学		

発行者 **エヌ・ティー・エス行** FAX:047-314-0810 年 月 日
「量子センシングハンドブック」 冊子版()部 / CD版()部

申込要領

団体名	TEL	
	FAX	
所在地	□□□□-□□□□	
購入希望 部署	氏名	
e-mail		
申込担当 部署	氏名	
e-mail		
通信欄	NTS 担当者	

■直接弊社宛にFAX、郵便またはホームページにてお申し込み下さい。なお、送料は無料です(国内に限ります)。

■お支払い方法
商品到着後、銀行振込、郵便振替、カードにてお支払い下さい(一部カード会社によってはリボリングや分割払いがご利用頂けない場合がございます)。

■お申し込み・お問い合わせ先
(株)エヌ・ティー・エス営業部

 株式会社 **エヌ・ティー・エス**

◆市川AIセンター
〒272-0023
千葉県市川市南八幡4-3-3 武蔵屋ビル4F
TEL047-314-0801 FAX047-314-0810
<http://www.nts-book.co.jp>

購入
申込
書

ここにご記入いただいた個人情報は、下記目的のために利用されます。
(1)お客様との契約の履行、管理 (2)新規書籍及びセミナーの紹介等、当社の営業内容の紹介 (3)お客様に特に有用と思われる当社提携先の書籍・サービス等の紹介
尚、弊社における「個人情報のお取り扱いについて」及び、「個人情報保護方針」については弊社HPをご覧ください。

量子センシング ハンドブック

量子科学が切り拓く新たな領域

■ 発刊 2021年3月 ■ 体裁 B5判364頁 ■ 定価 本体40,000円+税
■ ISBN 978-4-86043-661-2 ■ Cコード C3042



※NTSサイトにて電子版の
試読(無料)が可能です。

量子技術の応用でもっとも産業化が早いと目されている 量子計測・センシング技術の最新研究を概観

概要
目次

序章 第二次量子革命における量子センシング	第3章 冷却原子を用いた量子センシング
第1章 スピン量子センシング	第4章 その他の量子センシング
第2章 光量子センシング	第5章 量子センシング理論

監修者 **根来 誠** 大阪大学／量子科学技術研究開発機構

執筆者	根来 誠 大阪大学／ 量子科学技術 研究開発機構	山崎 雄一 量子科学技術 研究開発機構	富永 雄介 京都大学	宗宮健太郎 東京工業大学
	八巻 徹也 科学技術振興機構／ 量子科学技術 研究開発機構	水落 憲和 京都大学	武田 和行 京都大学	齊藤 志郎 日本電信電話(株)
	波多野睦子 東京工業大学	白川 昌宏 京都大学	金田 文寛 東北大学	今田 裕 理化学研究所
	寺地 徳之 物質・材料研究機構	五十嵐龍治 量子科学技術 研究開発機構	清水 亮介 電気通信大学	金 有洙 理化学研究所
	大島 武 量子科学技術 研究開発機構	藤原 正澄 大阪市立大学	枝松 圭一 東北大学	谷口 正輝 大阪大学
	小野田 忍 量子科学技術 研究開発機構	中台(鹿毛) 枝里子 大阪市立大学	三木 茂人 情報通信研究機構	井元 信之 東京大学／ 大阪大学
		湯川 博 名古屋大学	山下 太郎 名古屋大学	藤原 彰夫 大阪大学
		馬場 嘉信 名古屋大学	高本 将男 理化学研究所	小野 貴史 香川大学
		久保 結丸 沖縄科学技術 大学院大学	香取 秀俊 東京大学	松崎雄一郎 産業技術 総合研究所
			中川 賢一 電気通信大学	
			柴田 康介 学習院大学	
			平野 琢也 学習院大学	

発行者 **エヌ・ティー・エス行** FAX:047-314-0810 年 月 日
「量子センシングハンドブック」 冊子版()部 / CD版()部

申込要領

団体名	TEL	
	FAX	
所在地	□□□□-□□□□	
購入希望 部署	氏名	
e-mail		
申込担当 部署	氏名	
e-mail		
通信欄	NTS 担当者	

■直接弊社宛にFAX、郵便またはホームページにてお申し込み下さい。なお、送料は無料です(国内に限ります)。

■お支払い方法
商品到着後、銀行振込、郵便振替、カードにてお支払い下さい(一部カード会社によってはリボルビングや分割払いがご利用頂けない場合がございます)。

■お申し込み・お問い合わせ先
(株)エヌ・ティー・エス営業部

株式会社 エヌ・ティー・エス

◆市川AIセンター
〒272-0023
千葉県市川市南八幡4-3-3 武蔵屋ビル4F
TEL047-314-0801 FAX047-314-0810
<http://www.nts-book.co.jp>

購入
申込
書

ここにご記入いただいた個人情報は、下記目的のために利用されます。
(1)お客様との契約の履行、管理 (2)新規書籍及びセミナーの紹介等、当社の営業内容の紹介 (3)お客様にとり有用と思われる当社提携先の書籍・サービス等の紹介
尚、弊社における「個人情報のお取り扱いについて」及び、「個人情報保護方針」については弊社HPをご覧ください。

量子センシングハンドブック 量子科学が切り拓く新たな領域

序章 第二次量子革命における量子センシング

(根来 誠, 八巻 徹也)

- はじめに
- 第二次量子革命における量子センシング
- 従来のセンシングと量子センシング
- 量子コンピュータデバイスと量子センサデバイス
- おわりに—量子センシングの理論・応用研究における日本の貢献と今後

第1章 スピン量子センシング

第1節 固体量子センサの可能性

(波多野 睦子)

- はじめに
- 固体量子センサの重要性
- NVセンタの特徴と高感度センサの原理
- 固体量子センサシステムと要素技術
- まとめ

第2節 量子デバイス用ダイヤモンド結晶成長

(寺地 徳之)

- はじめに
- ダイヤモンド結晶の成長方法及び基板結晶
- ダイヤモンドの高品質化と高純度化
- NVセンタの形成と高性能化
- まとめ

第3節 ダイヤモンド中への負に帯電した窒素—空孔(NV⁻)センタの形成技術

(小野田 忍, 山崎 雄一, 大島 武)

- はじめに
- 負に帯電したNVセンタの形成
- 照射
- 注入
- 熱処理
- まとめ

第4節 ダイヤモンド高感度量子磁気センサの開発研究

(水落 憲和)

- ダイヤモンド中のNV中心
- NV中心の特性
- 感度と空間分解能
- 新規手法や応用例
- これまでのNV中心の T_2 長時間化の研究
- リンドーパn型ダイヤモンドによる T_2 長時間化
- むすび

第5節 小型超高感度ダイヤモンド量子センサの開発と応用

(白川 昌宏, 五十嵐 龍治)

- はじめに
- 生命計測技術としての量子センサ
- 多機能センサとしての量子センサ
- 超解像イメージングプローブとしての量子センサ
- ナノ回転センサとしての量子センサ
- おわりに

第6節 NVセンタを用いた温度計測と生体応用

(藤原 正澄, 中台(鹿毛) 枝里子, 湯川 博, 馬場 嘉信)

- はじめに
- NVセンタによる温度量子センシング
- 幹細胞の細胞内温度計測
- in vivo*線虫計測
- おわりに

第7節 室温超偏極量子符号化センサ—量子技術によるNMR/MRI高感度化—

(根来 誠)

- はじめに
- NMRの感度と極低温超偏極技術
- ペンタセンを用いた室温超偏極
- 室温超偏極による溶解DNP
- 室温超偏極技術の発展
- 室温超偏極量子符号化センサ

第8節 電子スピン共鳴(ESR)の量子限界

(久保 結丸)

- はじめに
- 量子限界感度を持つESR分光
- まとめと展望

第9節 ハイブリッド量子技術を用いた磁気共鳴検出

(冨永 雄介, 武田 和行)

- はじめに
- 原理
- 実験
- 結果と考察
- まとめ

第2章 光量子センシング

第1節 時間一周波数領域における量子もつれ光の操作・検出とその応用

(金田 文寛, 清水 亮介)

- はじめに
- 時間一周波数量子もつれ光子の特性とその量子計測への応用
- 時間一周波数量子もつれ光子発生方法
- 2光子周波数相関の測定
- 2光子時間相関の測定
- おわりに

第2節 量子ビットおよび量子もつれの強度可変計測と非局所計測

(松枝 圭一)

- はじめに
- 射影測定と一般化測定
- 量子ビットの強度可変計測
- 量子ビットの非局所計測
- おわりに

第3節 超伝導ナノストリップを用いた単一光子検出器

(三木 茂人, 山下 太郎)

- 超伝導ナノストリップを用いた単一光子検出器
- 検出メカニズムと検出器性能
- 高性能化・高機能化に向けた取り組み
- SSPDイメージングカメラ実現に向けた研究開発

第3章 冷却原子を用いた量子センシング

第1節 光格子時計を用いた高精度時空間計測

(高本 将男, 香取 秀俊)

- はじめに
- 光格子時計の高精度化
- 光格子時計の測地応用とネットワーク化
- 可搬型光格子時計の開発
- 東京スカイツリーでの一般相対論の検証実験
- おわりに

第2節 次世代高性能量子慣性センサ

(中川 賢一)

- はじめに
- 光パルス型原子干渉計の原理
- 原子重力計
- 可搬型原子重力計のフィールド応用
- 原子ジャイロ
- おわりに

第3節 量子原子磁力計

(柴田 康介, 平野 琢也)

- はじめに
- 原子磁力計の手法
- 原子磁力計の性能限界
- 量子増強磁力計
- 今後の展望

第4章 その他の量子センシング

第1節 重力波検出と量子雑音

(宗宮 健太郎)

- 重力波

2 光の量子雑音と標準量子限界

3 標準量子限界を超える

4 まとめ

第2節 超伝導量子回路を用いた量子磁場センサ

(齊藤 志郎)

- はじめに
- 超伝導量子回路
- 電子スピン共鳴(ESR)測定
- 超伝導量子干渉計を用いた電子スピン検出
- ジョセフソン分岐増幅器(JBA)を用いたESR測定
- 超伝導磁束量子ビットを用いたESR測定
- 超伝導磁束量子ビットとJBAを用いたESR測定
- おわりに

第3節 走査トンネル顕微鏡を用いた単一分子分光

(今田 裕, 金 有洙)

- はじめに
- 実験手法
- トンネル電流を励起源とした分光手法
- レーザーを励起源とした分光手法: 単一分子共鳴ラマン分光
- おわりに

第4節 1分子量子シークエンサー

(谷口 正輝)

- はじめに
- 原理
- DNA-RNAの塩基配列決定
- 定量解析法
- 修飾塩基分子の1分子識別
- ペプチドのアミノ酸配列決定
- 抗がん剤の1分子識別
- 機械学習による解析
- まとめ

第5章 量子センシング理論

第1節 量子非破壊測定と多光子干渉計の基礎

(井元 信之)

- はじめに
- 量子非破壊測定
- 光の量子非破壊測定
- 多光子干渉によるセンシング感度向上
- おわりに

第2節 量子推定理論

—基礎から適応的推定まで

(藤原 彰夫)

- 統計的推定問題
- 量子統計的推定問題
- 適応的量子推定
- 適応的量子推定の実験的検証
- 展望

第3節 量子もつれ光子を用いたセンシングの理論

(小野 貴史)

- はじめに
- パラメータ推定の基礎
- 光子を用いた量子センシング(光の偏光測定)
- まとめ

第4節 量子もつれを用いた磁場センサの理論

(松崎 雄一郎)

- 背景
- 量子ビットを用いた磁場センサ
- マルコフ型の位相緩和の影響下で量子ビットを用いた磁場センサ
- 量子ビット間の量子もつれを用いた磁場センサ
- マルコフ型の位相緩和の影響下における量子もつれを用いた磁場センサ
- 量子ビットの共振周波数に統計的ばらつきが存在する場合の量子もつれ磁場センサ
- ノンマルコフ型の位相緩和の影響下における量子もつれ磁場センサ
- まとめ

量子センシングハンドブック 量子科学が切り拓く新たな領域

序章 第二次量子革命における量子センシング

(根来 誠, 八巻 徹也)

- はじめに
- 第二次量子革命における量子センシング
- 従来のセンシングと量子センシング
- 量子コンピュータデバイスと量子センサデバイス
- おわりに—量子センシングの理論・応用研究における日本の貢献と今後

第1章 スピン量子センシング

第1節 固体量子センサの可能性

(波多野 睦子)

- はじめに
- 固体量子センサの重要性
- NVセンタの特徴と高感度センサの原理
- 固体量子センサシステムと要素技術
- まとめ

第2節 量子デバイス用ダイヤモンド結晶成長

(寺地 徳之)

- はじめに
- ダイヤモンド結晶の成長方法及び基板結晶
- ダイヤモンドの高品質化と高純度化
- NVセンタの形成と高性能化
- まとめ

第3節 ダイヤモンド中への負に帯電した窒素—空孔(NV⁻)センタの形成技術

(小野田 忍, 山崎 雄一, 大島 武)

- はじめに
- 負に帯電したNVセンタの形成
- 照射
- 注入
- 熱処理
- まとめ

第4節 ダイヤモンド高感度量子磁気センサの開発研究

(水落 憲和)

- ダイヤモンド中のNV中心
- NV中心の特性
- 感度と空間分解能
- 新規手法や応用例
- これまでのNV中心の T_2 長時間化の研究
- リンドープn型ダイヤモンドによる T_2 長時間化
- むすび

第5節 小型超高感度ダイヤモンド量子センサの開発と応用

(白川 昌宏, 五十嵐 龍治)

- はじめに
- 生命計測技術としての量子センサ
- 多機能センサとしての量子センサ
- 超解像イメージングプローブとしての量子センサ
- ナノ回転センサとしての量子センサ
- おわりに

第6節 NVセンタを用いた温度計測と生体応用

(藤原 正澄, 中台(鹿毛) 枝里子, 湯川 博, 馬場 嘉信)

- はじめに
- NVセンタによる温度量子センシング
- 幹細胞の細胞内温度計測
- in vivo*線虫計測
- おわりに

第7節 室温超偏極量子符号化センサ—量子技術によるNMR/MRI高感度化—

(根来 誠)

- はじめに
- NMRの感度と極低温超偏極技術
- ペンタセンを用いた室温超偏極
- 室温超偏極による溶解DNP
- 室温超偏極技術の発展
- 室温超偏極量子符号化センサ

第8節 電子スピン共鳴(ESR)の量子限界

(久保 結丸)

- はじめに
- 量子限界感度を持つESR分光
- まとめと展望

第9節 ハイブリッド量子技術を用いた磁気共鳴検出

(冨永 雄介, 武田 和行)

- はじめに
- 原理
- 実験
- 結果と考察
- まとめ

第2章 光量子センシング

第1節 時間一周波数領域における

量子もつれ光の操作・検出とその応用

(金田 文寛, 清水 亮介)

- はじめに
- 時間一周波数量子もつれ光子の特性とその量子計測への応用
- 時間一周波数量子もつれ光子発生方法
- 2光子周波数相関の測定
- 2光子時間相関の測定
- おわりに

第2節 量子ビットおよび量子もつれの強度可変計測と非局所計測

(松枝 圭一)

- はじめに
- 射影測定と一般化測定
- 量子ビットの強度可変計測
- 量子ビットの非局所計測
- おわりに

第3節 超伝導ナノストリップを用いた単一光子検出器

(三木 茂人, 山下 太郎)

- 超伝導ナノストリップを用いた単一光子検出器
- 検出メカニズムと検出器性能
- 高性能化・高機能化に向けた取り組み
- SSPDイメージングカメラ実現に向けた研究開発

第3章 冷却原子を用いた量子センシング

第1節 光格子時計を用いた高精度時空間計測

(高本 将男, 香取 秀俊)

- はじめに
- 光格子時計の高精度化
- 光格子時計の測地応用とネットワーク化
- 可搬型光格子時計の開発
- 東京スカイツリーでの一般相対論の検証実験
- おわりに

第2節 次世代高性能量子慣性センサ

(中川 賢一)

- はじめに
- 光パルス型原子干渉計の原理
- 原子重力計
- 可搬型原子重力計のフィールド応用
- 原子ジャイロ
- おわりに

第3節 量子原子磁力計

(柴田 康介, 平野 琢也)

- はじめに
- 原子磁力計の手法
- 原子磁力計の性能限界
- 量子増強磁力計
- 今後の展望

第4章 その他の量子センシング

第1節 重力波検出と量子雑音

(宗宮 健太郎)

- 重力波

- 光の量子雑音と標準量子限界
- 標準量子限界を超える
- まとめ

第2節 超伝導量子回路を用いた量子磁場センサ

(齊藤 志郎)

- はじめに
- 超伝導量子回路
- 電子スピン共鳴(ESR)測定
- 超伝導量子干渉計を用いた電子スピン検出
- ジョセフソン分岐増幅器(JBA)を用いたESR測定
- 超伝導磁束量子ビットを用いたESR測定
- 超伝導磁束量子ビットとJBAを用いたESR測定
- おわりに

第3節 走査トンネル顕微鏡を用いた単一分子分光

(今田 裕, 金 有洙)

- はじめに
- 実験手法
- トンネル電流を励起源とした分光手法
- レーザーを励起源とした分光手法: 単一分子共鳴ラマン分光
- おわりに

第4節 1分子量子シークエンサー

(谷口 正輝)

- はじめに
- 原理
- DNA-RNAの塩基配列決定
- 定量解析法
- 修飾塩基分子の1分子識別
- ペプチドのアミノ酸配列決定
- 抗がん剤の1分子識別
- 機械学習による解析
- まとめ

第5章 量子センシング理論

第1節 量子非破壊測定と多光子干渉計の基礎

(井元 信之)

- はじめに
- 量子非破壊測定
- 光の量子非破壊測定
- 多光子干渉によるセンシング感度向上
- おわりに

第2節 量子推定理論

—基礎から適応的推定まで

(藤原 彰夫)

- 統計的推定問題
- 量子統計的推定問題
- 適応的量子推定
- 適応的量子推定の実験的検証
- 展望

第3節 量子もつれ光子を用いたセンシングの理論

(小野 貴史)

- はじめに
- パラメータ推定の基礎
- 光子を用いた量子センシング(光の偏光測定)
- まとめ

第4節 量子もつれを用いた磁場センサの理論

(松崎 雄一郎)

- 背景
- 量子ビットを用いた磁場センサ
- マルコフ型の位相緩和の影響下で量子ビットを用いた磁場センサ
- 量子ビット間の量子もつれを用いた磁場センサ
- マルコフ型の位相緩和の影響下における量子もつれを用いた磁場センサ
- 量子ビットの共振周波数に統計的ばらつきが存在する場合の量子もつれ磁場センサ
- ノンマルコフ型の位相緩和の影響下における量子もつれ磁場センサ
- まとめ