

システム開発
19 - F - 5

超高感度撮像システムの高度な活用 に関するフィージビリティスタディ 報 告 書

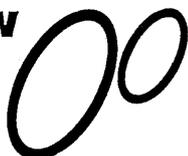
要 旨 -

平成20年3月

財団法人 機 械 シ ス テ ム 振 興 協 会

委 託 先 財団法人デジタルコンテンツ協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。
URL : [http:// ringring-keirin.jp/](http://ringring-keirin.jp/)



序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、財団法人日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長：東京大学名誉教授 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「超高感度撮像システムの高度な活用に関するフェージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人デジタルコンテンツ協会に委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成20年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

本報告書は、財団法人デジタルコンテンツ協会(DCAj)が、財団法人 機械システム振興協会から平成 19 年度事業として受託した「超高感度撮像システムの高度な活用に関するフェーザビリティスタディ」の成果をまとめたものである。

政府の取り組む e-japan 計画の推進に伴い、文化をはじめ、行政、学術研究、教育などにおいて幅広くデジタルコンテンツの活用が期待されている。そのなかにあって、高感度撮影技術は、従来、撮影装置のハード面での限界によって観測することのできなかつた、低光量下での自然現象などを鮮明に映像化できるシステムとして、学術分野をはじめ、各分野で大いに期待されている。HARP (High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor) 撮像デバイスは、この分野では数少ない日本発のオリジナルな高感度撮像技術であり、特に高感度撮影時の付加ノイズの少なさは、CCD(Charge Coupled Device) デバイスをはじめとした他の撮像技術においても比類するものはなく、これまで光量不足のため撮影できなかつた被写体を鮮明な画質で撮影することができる。

本スタディでは、まず超高感度撮像システムの有効性検証として、監視分野を中心に現行の CCD カメラとの比較実験を行い、HARP カメラの低照度下での階調表現、色再現性における優位性、人物の容貌や服装といった特徴検出での有用性を検証した。デバイス改良開発では、緑色増感型 HARP 膜について、白きず抑制、動作安定性を実現した。カメラの高画質化・多機能化・操作性改善では、レジストレーションずれ抑制方式を検討し、特に磁気シールドケースが有効であることを検証した。また、カメラのコントロール機能を改善し、画像処理機能の充実を図った。最後に、本年度開発結果の評価、及び、次世代 HARP 撮像システムの調査を行い、新たな適用領域を考察した。

本スタディの実施にあたり、ご指導・ご支援をいただいた関係の官庁、関係機関の各位に感謝の意を表します。

平成 20 年 3 月

財団法人 デジタルコンテンツ協会

目次

1	スタディの目的	1
2	スタディの実施体制	2
3	スタディ成果の要約	6
3-1	超高感度撮像システムの有効性の検証	6
(1)	店舗などでの入店者監視を想定した撮影実験	6
(2)	交通取締りなどでの車両監視を想定した撮影実験	20
(3)	高所からの空港・港湾などの施設監視を想定した撮影実験	36
3-2	高画質・高感度撮像デバイスの改良	46
(1)	高効率・高信頼性 HARP 光電変換膜の試作	46
(2)	緑色増感型 HARP 膜の評価	47
3-3	高感度カメラの高画質化、多機能化、操作性の改善	49
(1)	地磁気によるレジストレーションずれの抑制	49
(2)	HARP カメラシステムの多機能化及び操作性改善の概要	55
3-4	HARP 撮像管の評価と次世代 HARP 撮像システムの適用領域の調査	67
(1)	次世代撮像システム(冷陰極 HARP 撮像板)開発の現状	67
(2)	次世代撮像システムの特徴と新たな適用領域	72
4	スタディの今後の課題及び展開	80
(1)	課題のまとめ	80
(2)	今後の展開	81

1 スタディの目的

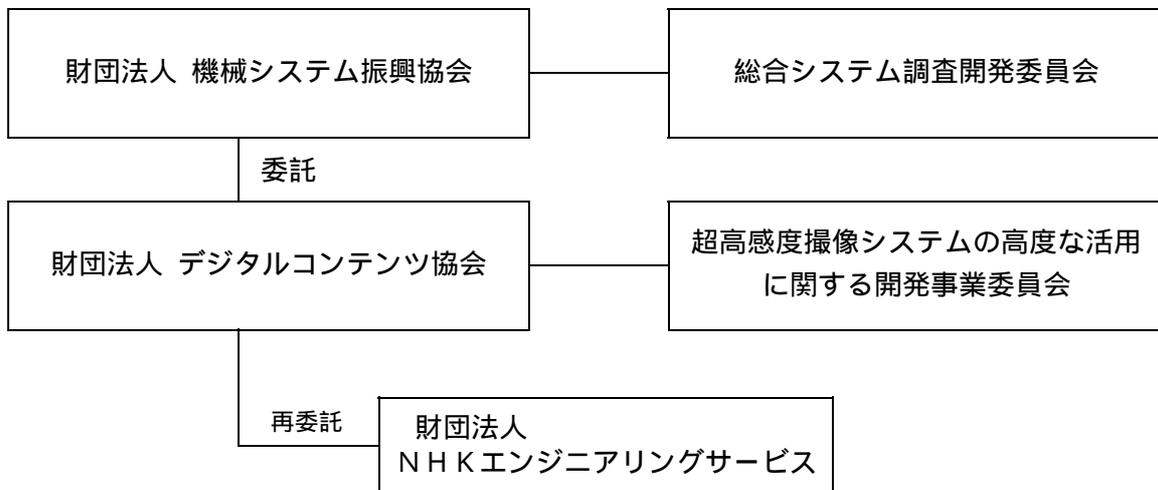
高感度撮影技術は、低光量下での自然現象などを鮮明に映像化できるシステムとして、学術分野をはじめ、各分野で大いに期待されている。なかでも HARP 撮像デバイスは、この分野では数少ない日本発のオリジナルな超高感度撮像技術であり、特に超高感度撮影時の付加ノイズの少なさは、CCD デバイスをはじめとした他の撮像技術においても比類するものはなく、これまで撮影できなかった低光量下の被写体を鮮明に映像化できる技術として、学術分野、産業分野で期待度が大きい。そこで、平成 18 年度より超高感度撮像システムのさらなる応用分野の開拓と性能向上を目指して、フィージビリティスタディを開始した。本スタディにおいては、その基礎開発をもとに、各応用分野における機能性を改善・充実を図るとともに、各分野での実用に向け、そのレベル向上に大きく貢献することを目指す。

本年度のスタディでは、昨年度調査した超高感度撮像システムの適用領域について有効性の検証を実証実験を通して行い、その適用可能性ならびに限界を明らかにすると同時に、高画質・高感度撮像デバイスの改良、高感度カメラの高画質化、多機能化、操作性の改善など有用性を高める開発を行う。さらに次世代 HARP 撮像システムの性能上の特徴と適用領域の調査を行い、新たな適用領域の可能性を考察する。

2 スタディの実施体制

財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人デジタルコンテンツ協会内に当協会会員会社と外部有識者などからなる「超高感度撮像システムの高度な活用に関する開発事業委員会」を設置してスタディを実施した。

また、スタディの一部の業務は、財団法人デジタルコンテンツ協会より外部専門機関(財団法人NHKエンジニアリングサービス)に再委託を行った。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	東京大学 名誉教授	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 総合研究機構 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携推進部門 産学官連携コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学大学院 工学研究科 教授 (未来科学技術共同研究センター長)	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 准教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授(副研究科長)	大 和 裕 幸

超高感度撮像システムの高度な活用に関する開発事業委員会名簿

(順不同・敬称略)

(各委員の所属は平成19年6月25日現在)

委員長	静岡大学 名誉教授	安藤 隆男
委員	財団法人NHKエンジニアリングサービス 先端開発研究部 チーフエンジニア	白石 孝
委員	財団法人交通事故総合分析センター 研究部 担当部長 兼 研究第一課長	西田 泰
委員	セコム株式会社 IS研究所 セキュリティコンサルティンググループ グループリーダー	甘利 康文
委員	東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授	佐久間 一郎
委員	日本女子大学 人間社会学部 教授 総合研究所 市民安全学研究センター長	清永 賢二
委員	日本放送協会 放送技術研究所 材料・デバイス 主任研究員	久保田 節
委員	日本放送協会 放送技術研究所 材料・デバイス	松原 智樹
委員	浜松ホトニクス株式会社 電子管事業部 電子管技術部電子管開発グループ 主査	河合 敏昭
委員	株式会社日立国際電気 情報通信システム研究所 主管研究員	吉田 哲男

オブザーバー 財団法人NHKエンジニアリングサービス 河合 輝 男
先端開発研究部
部長

オブザーバー 防衛省 外園 博 一
技術研究本部 技術企画部
企画課長

事務局 財団法人デジタルコンテンツ協会
常務理事、(兼)事業開発本部長 田中 誠 一
事業開発本部 先導的事業推進部長 大橋 淑 郎
事業開発本部 主任 須藤 智 明
事業開発本部 先導的事業推進部 研究主幹 土屋 光 久
事業開発本部 先導的事業推進部 研究主幹 千葉 祐 治

3 スタディ成果の要約

3-1 . 超高感度撮像システムの有効性の検証

オウム事件、毒物混入事件に代表される無差別テロが社会を騒がせてからというもの、監視カメラは社会の安全を見守るツールとして社会に広く認知されてきた。これは、社会のニーズの高まり、電子撮像技術の発達、生産数の増加による低廉化、という3つの要因が相互に絡み合いながら進んできた結果である。本章では、民生用の監視カメラを使う側の立場から超高感度撮像システムの可能性について検証・概観する。

超高感度撮像システムは、高感度撮影時の付加ノイズが他の撮像システムと比較して極めて少ないなどの特徴があり、放送のみならず様々な分野に適用できる可能性がある。本スタディでは、これまで安全・安心・環境をキーワードとして、様々な分野における撮像システムに対する要求仕様の調査を行ってきた。本年度は、特に監視分野に着目し、本システムが有効に適用できる例として、

- (1) 店舗などでの入店者監視
- (2) 交通取締りなどでの車両監視
- (3) 高所からの空港・港湾などの施設監視

を取り上げ、それぞれの場면을想定した撮影実験を行った。さらに得られた実験結果を基に、本システムを適用した場合の他の撮像システムに対する優位点を明確にするとともに、監視目的の撮像システムとして普及を考えた際の課題について検討した。

(1) 店舗などでの入店者監視を想定した撮影実験

店舗などでの入店者監視用途における撮像システムへの要求性能

超高感度撮像システムは、そのダイナミックレンジの広さゆえ、コンビニエンスストア（以降、コンビニ）金融機関等で、店内から入口にカメラを向けて、入店者の風貌を撮影するという用途への適用可能性がある。現在一般に出回っている通常の CCTV カメラでは、ダイナミックレンジを拡大する処理が施されているものがあるものの、もともとの CCD 撮像系の持つダイナミックレンジの狭さから、夏季の昼間から夜間にかけて、入店時の顔の容貌を十分に安定して捉えることができるとは言いきれない。それゆえ、幅広いダイナミックレンジを持ち、夏季の昼間から夜にかけての照明環境の大きな変動に対して対応可能性のある超高感度撮像システムへの期待が大きい。

コンビニでは、銀行 ATM の導入、料金徴収業務代行サービス等が進むことにより、店

内にある現金が増えており、それに伴って強盗事件が増加の傾向を示している。しかしながらコンビニは、主に経営上の観点から、防犯だけの目的では深夜時間帯に複数人の店員が売場で顧客対応を行うことは難しいのが現状である。それゆえ、コンビニ店に入店する人間の容貌を、季節・時間を問わずに安定して撮影できる可能性のある超高感度撮像システムには高い可能性がある。

一旦設置したカメラのパラメーターを変更せずに、季節や昼夜関係なく、例えば明部と暗部が同時に写り込んだ場合であっても白とびや黒つぶれがなく、安定して入店者の容貌が撮影できる撮像系が実現できたとすると、4万店舗強存在し、月当たり延べ10億人が利用するコンビニ、2万店舗を超える郵便局、4万店舗強の銀行・信金等、1.2万件ある消費者金融業者の店舗等、14万台強存在するCD/ATMの現金を扱う店舗等での導入が期待できる。

店舗などでの入店者監視を想定した撮影実験概要

超高感度撮像システムを用いることで、上記用途での要求性能を満たすことができるか検証するため、コンビニエンスストアや銀行などで、店内から入り口にカメラを向けて、入店者の風貌を撮影する場面を想定した撮影実験を行った。実験の概要を以下に示す。

(目的)

店舗などでの入店者監視における超高感度撮像システムの有効性評価

(主な評価項目)

- ・ 照明された屋内と夜間の屋外を同一画面で撮影し、輝度差の大きい被写体を撮影した際のカメラのダイナミックレンジ特性を評価する。
- ・ 上記のような輝度差の大きい条件で、屋外に人物がいる場合、屋内に人物がいる場合のそれぞれについて、人物の容貌や服装といった特徴検出性能を評価する。

(撮影条件)

- ・ 超高感度撮像システムであるハイビジョンHARPカメラSK-H5000と一般的な放送用ハイビジョンCCDカメラを用いて、同時に撮影を行い、それぞれの映像を比較する。
- ・ コンビニエンスストアなどと同等の照明条件とするため、屋内は全体がほぼ均一な照度(500ルクス程度)となるように照明を設置する。
- ・ 屋外の照明は既設の水銀灯のみとし、照度は40ルクス程度とする。
- ・ 店舗などに設置されている監視カメラを想定し、カメラの設置位置は天井近くとする。
- ・ 人物と同時にチャートも撮影し、解像度、階調、色再現性の評価も同時に行う。
- ・ レンズのアイリスは、F2.0、F5.6、F11で各々撮影する。
- ・ 撮影は高感度モードと低感度モードでそれぞれ行う。カメラの設定条件を以下に示す。

	高感度モード	低感度モード
ハイビジョン HARP カメラ	HARP 増倍率 ×200	HARP 増倍率 ×2
ハイビジョン CCD カメラ	アンプゲイン +18dB	アンプゲイン 0dB

撮影実験結果

撮影画像を図 01 から図 08 に示す。撮影時の条件は以下のとおりである。

カメラの感度モード： 高感度モード ... 図 01、図 02、図 03、図 04
 低感度モード ... 図 05、図 06、図 07、図 08

人物の位置 : 屋外 ... 図 01、図 03、図 05、図 07
 : 屋内 ... 図 02、図 04、図 06、図 08

画角 : ルーズ ... 図 01、図 02、図 05、図 06
 : タイト ... 図 03、図 04、図 07、図 08

全ての図において、左側{(a)(c)(e)}はハイビジョン HARP カメラによる撮影画像、右側{(b)(d)(f)}はハイビジョン CCD カメラによる撮影画像である。また、(a)(b)は F2.0、(c)(d)は F5.6、(e)(f)は F11 にレンズのアイリスを固定して撮影した映像を示す。



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 01 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋外、高感度モード)
(屋内：470ルクス、屋外：40ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 02 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋内、高感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

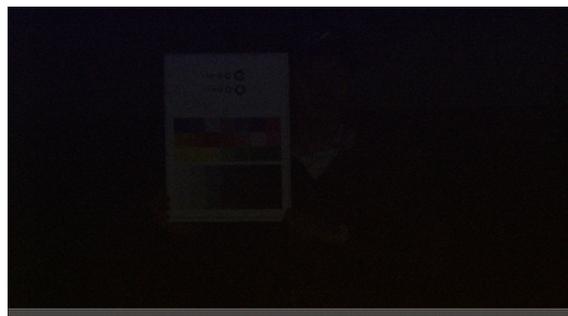


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 03 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋外、高感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 04 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋内、高感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)



(a) HARP (増倍率 2)

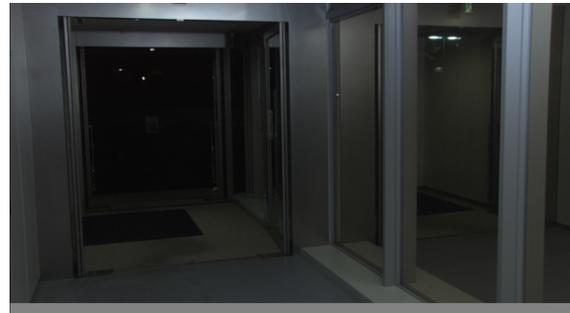


(b) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 2)

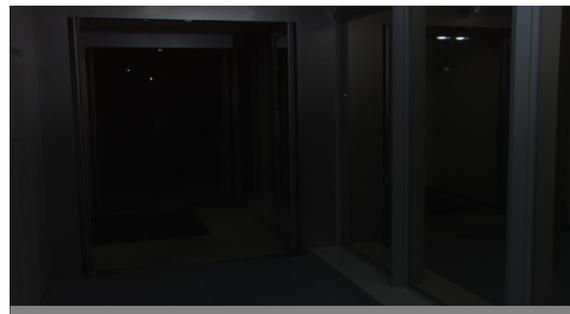


(d) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 2)



(f) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 11

図 05 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物: 屋外、低感度モード)
(屋内: 470 ルクス、屋外: 40 ルクス)



(a) HARP (増倍率 2)



(b) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 2.0

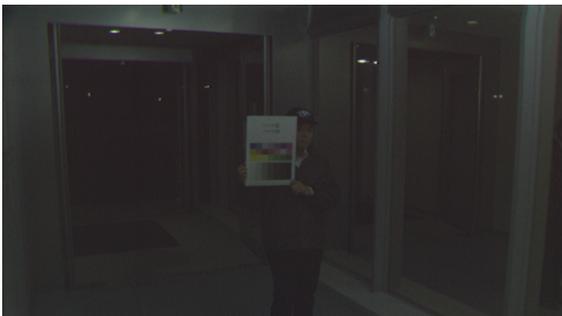


(c) HARP (増倍率 2)

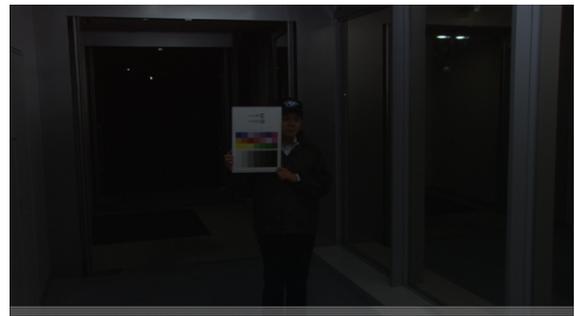


(d) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 2)



(f) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 11

図 06 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋内、低感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)

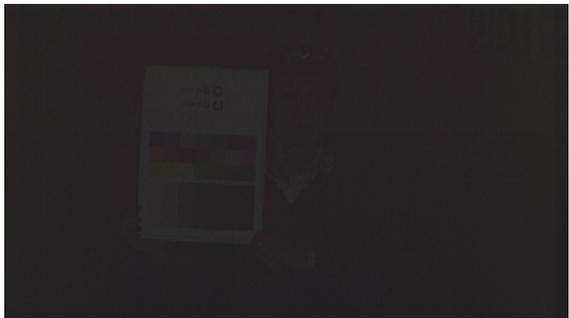


(a) HARP (増倍率 2)

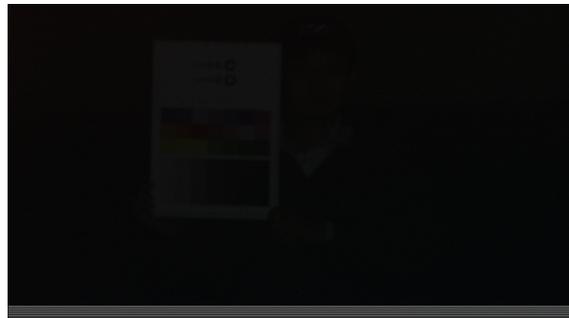


(b) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 2)

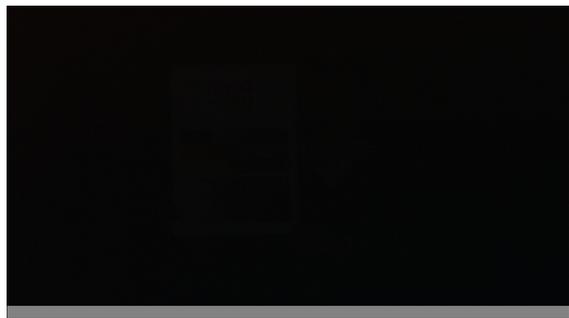


(d) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 2)



(f) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 11

図 07 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋外、低感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)



(a) HARP (増倍率 2)



(b) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 2)



(d) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 2)



(f) CCD (アンプゲイン 0dB)

F 11

図 08 店舗などでの監視を想定した撮影実験 (人物：屋内、低感度モード)
(屋内：470 ルクス、屋外：40 ルクス)

実験結果解析

(ダイナミックレンジ)

広角で撮影した図 01、図 02、図 05、図 06 は、輝度差の大きい屋内と屋外が同一画面上にある。これらの画像からダイナミックレンジを評価する。

- ・ カメラを高感度モードに設定して撮影した場合（図 01、02）、低照度である屋外での階調表現力や色再現性において HARP の有効性が確認できる。図 01、02 において、屋外に着目し、同じアイリス値の画像を比較する。例として、図 01 の(c)と(d)を比較すると、(c)の HARP の画像では暗い色の服を着て屋外にいる人物の輪郭を判別することができるが、(d)の CCD 画像では屋外は黒く潰れてしまい、人物を判別することは困難である。このことから、HARP は黒の階調表現力に優れていることがわかる。
- ・ 図 01、02 の(a)のように、高感度モードで 500 ルクス程度の明るい屋内をアイリス開放 (F2.0) で撮影すると、HARP では信号電荷に対する読み出しビーム量が不足するため、明部で画像不良現象が生じる。また、CCD においても明部でオーバーフローによる白つぶれが生じている（図 01、02 の(b)）。HARP の黒の階調表現力をさらに有効に活用するためには、ハイライト処理が課題となる。
- ・ 実際に監視カメラとして配備される場合には、オートアイリス機構を備えたレンズと併用され、適正なアイリス値に自動調節される。本実験の照度環境では、HARP が F11 程度、CCD は F5.6 程度が画質劣化なく撮影できる適正なアイリス値であると考えられる。そこで、図 01、図 02 それぞれの(e)と(d)を比較すると、屋内はどちらも鮮明に撮影できており、かつ、屋外の暗部は、HARP の階調表現、色再現性が優れていることがわかる。以上より、明部が画像不良現象を起こさないような条件で揃えた場合、CCD と比較して、HARP は暗部の階調表現力に優れ、その分、ダイナミックレンジも広がる。
- ・ カメラの設定を低感度モードとし、アイリスを開放して HARP で明るい屋内を撮影した場合（図 05(a)、図 06(a)）でも、輝度の高い箇所に白つぶれは生じておらず、通常の CCD カメラ（図 05(b)、図 06(b)）と同等の画質が得られている。この特性より、昼間など屋外が十分に明るく、高感度撮影が必要ない場合には、低感度モードとすることで、CCD カメラと同等の画質で撮影が可能であることがわかる。

(人物の特徴検出性能)

図 03、図 04、図 07、図 08 は、図 01、図 02、図 05、図 06 と同じ条件で、人物をズームアップした画像である。これらの画像から人物の容貌や服装などの特徴検出性能を評価する。

- ・ カメラを高感度モードに設定し、照度の低い屋外にいる人物をズームアップして撮影した場合（図 03）人物の特徴検出に関しては、HARP が非常に有利であることがわかる。ビーム不足が生じるほど照度の高い被写体が画面内にはない場合にはアイリスを開放で撮影することができるため、HARP の高感度特性がさらに効果的となる。図 03(a)は、40 ルクス程度の照度でも、人物の容貌や服装の細部、背景の植栽

まで、鮮明なカラー画像で表現できている。同じ条件で撮影した CCD の画像（図 03(b)）と比較することで、暗部を撮影する場合の HARP の有効性を確認することができる。

- ・ 500 ルクス程度の明るい室内にいる人物をズームアップした場合（図 04） 上述したような読み出しビーム不足による画像不良現象が生じてしまうため、アイリスを F11 まで絞る必要がある（図 04(a)(c)(e)）。
- ・ カメラを低感度モードとした場合には、照度の高い被写体の撮影（図 08）において画像劣化を生じずに、通常の CCD カメラと同等の画像を得られるが、暗部の感度も通常カメラと同等となる（図 07）。

以上より、入店者監視を想定した撮影実験における HARP の評価をまとめると、

40 ルクス程度の暗い場所の撮影では、通常のカメラと比較して階調表現、色再現性に優れ、人物の容貌や服装といった特徴検出に有効である（図 01(c)と図 01(d)を比較）。

500 ルクス程度の明るい場所をアイリス開放で撮影するなど、強い光が入射する場合、読み出しビーム不足による画像不良現象が生じる（図 01(a)、図 02(a)、図 04(a)）。

昼間など、画面全体の照度が高い場合には、低感度モードで駆動することで、通常のカメラと同等の画質の映像が得られる（図 05～08）。

要求性能からの評価・課題

これら一連のコンビニ等への入店者の風貌を撮影するという用途への適用可能性を検証することを目的として撮影実験を行った結果から、超高感度撮像システムとしての HARP カメラは、照度が不足する環境下では CCD カメラと比較して多くの情報が撮れるものの、カメラのパラメーターがそのままの高感度な状態では、照度が十分に確保できる明るい環境下では、画像が一部破綻し、十分に使い物になるとは言えないことがわかる。

すなわち、残念なことに、現時点においては、超高感度撮像システムとしての HARP カメラを用いることにより「コンビニ店に入店する人間の容貌を、季節・時間を問わずに安定して撮影できる」のではという先の仮説は、そのダイナミックレンジの限界により否定されてしまったと言える。

課題への対策案

しかしながら、この結論はあくまでも現時点で実現している HARP 撮像管カメラによる実験結果から導き出されるものであることに注意が必要である。照度が十分に確保できる環境下で、HARP 撮像管カメラの画像が破綻する大きな原因は、強い入射光とアバランシェ増倍効果で HARP 膜裏面に生成された多量の正孔を、撮像管方式の宿命である読み出し電子ビームの 1 回のスキャンでは十分に中和することができず、読み残しを起こしてしまうことにある。

今後、HARP カメラが進化し、HARP 膜裏面に生成される正孔を、撮像管電子ビームによる逐次読み出しでなく、冷陰極から発する電子ビームによる並列読み出しが可能になれば、その駆動方法を工夫することでサチュレーションを起こす上限値が上がる可能性は十

分にある。すなわち、次世代冷陰極 HARP 撮像板ができた暁には、照度が十分ある環境下において高感度動作を行っても画像が破綻せずに安定した映像を撮影できる可能性があるということである。HARP 膜が本質的に具備しているダイナミックレンジの広さをうまく使い、屋外から屋内に入館する人物の容貌を、季節・時間を問わずに安定して撮影できる撮像系の可能性が否定されたわけではない。

CCD 撮像系、CMOS 撮像系と比べ、HARP 膜を使った撮像系は、その素子そのものが持つダイナミックレンジの広さから本質的に有利である。同画面上に明部と暗部が同時に写り込んだ場合、明部の画像が破綻するのは、HARP 膜方式が原理的に破綻しているからではなく、HARP 膜が読み出した情報を読み出す手法に、改善の余地が大いにあるからである。そして、冷陰極 HARP 撮像板方式は、HARP 膜により得られた情報を読み出す方法としては、現行の撮像管による方法と比して一歩も二歩も先を行くものになる。次世代冷陰極 HARP 撮像板開発の進捗に期待し、この「コンビニ店に入店する人間の容貌を、季節・時間を問わずに安定して撮影できる」のでは、という先の仮説に結論を下すのは、次世代冷陰極 HARP 撮像板カメラ完成後とさせて頂きたい。

また、HARP 方式が進歩することによって、同画面上に明部と暗部が同時に写り込んだ場合の画像情報をきちんと取り込むことができるようになったとしても、今度は、それを表示するディスプレイ側のダイナミックレンジの問題が残る。システム全体の完成のためには、トーンマッピングに代表される、明部と暗部を同時に提示するための画像情報処理技術についても、冷陰極 HARP 撮像板カメラの進歩と同時に開発する必要が出てくるであろう。

前報告書の繰り返しになるが、防犯・監視カメラシステムでは、「撮影環境、撮影対象、及び撮影タイミングを特定できない」という宿命を持つがゆえに、本質的に高解像度と高感度の双方が同時に要求される。一方、これら 2 つは常に二律背反の関係にある。通常の CCD 撮像系では、画像の解像度を上げると、感度が一般環境下における実用レベル以下になってしまうことが多いため、おいそれと解像度のみを高性能化するわけにはいかないジレンマが存在する。

HARP カメラによる超高感度撮像システムでは、読み出しの密度を上げて、十分に高解像度な画像を得たとしても、一般の照明環境下において、なお十分に明るい画像を撮像することが期待できる。すなわち、感度と解像度を両立した理想的な防犯・監視カメラシステムを構成する可能性が大きいのである。この観点から、「撮影環境、撮影対象、及び撮影タイミングを特定できない」という防犯・監視カメラシステムに宿命づけられた弱点克服に関し、超高感度撮像システムは本質的に有利である。

HARP による超高感度撮像システムは、依然として防犯・監視カメラシステム導入の際のシステム設計、設置のプランニングに革命的大変革をもたらす可能性を秘めている。前回報告書でも指摘した、防犯・監視カメラが帳簿に現れる価値を生まないことから要求される、極めて厳しいコスト要求をどうするかというもう一つの大きな課題と併せて、これから実用化される次世代冷陰極 HARP 撮像板方式による超高感度撮像システムに大いに期待したい。

(2) 交通取締りなどでの車両監視を想定した撮影実験

交通取締りなどでの車両監視用途における撮像システムへの要求性能

1) 交通違反取締りに必要な情報

速度違反取締りを含め交通違反取締りに必要な情報は、以下のように整理できる。

対象行為が違反行為に該当することを客観的に示すもの

違反行為が行われた場所、日時を特定できるもの

違反行為を犯した者(車両)を特定できるもの

速度取締りを現場で警察官等が取締りを行なう場合、及び に関する情報は特別な機器を使わずに警察官による現認で十分とされているが、 に関する情報については、速度を計測する機器を使って収集されている。

これに対して、自動速度取締り装置は、 に関する情報は速度を自動的に計測する機器を使い、及び に関する情報は自動的に記録(あるいは、設置場所として特定)している。特に、 については、画像情報を記録、処理することで対応している。

2) 画像情報に求められる条件

運転者及び車両を特定するために画像情報に求められる条件は、

車両登録番号が正確に読み取れること

運転者の顔画像が、誰であるかを特定するに十分な精細度を持つこと

の2つであるが、取締り目的であることを考慮すると、自動取締り機器の場合には車両登録番号と運転者の顔の情報が一つ(1枚)の画像に収められていることが必要であろう。

撮影された画像の質は、装置の基本仕様だけでなく撮影条件の影響を受けるため、取締り機器の仕様として必要な条件を設定する場合には、実際の運用条件(全画角に占める車両の大きさ、車両走行速度、現場の明るさ等)を考慮して設定する必要がある。

顔画像を使った個人識別について、参考文献[1]に示すような顔の特徴点を使うためには、かなり高い精度が必要となる。しかし、車両の特定によって対象運転者が絞り込める場合には、顔の細かな特徴点に関する数値データが得られなくても、運転者の特定は可能と考えられる。その場合でも、身分証明書用写真に近い解像度が必要であろう。

3) 顔画像の解像度

違反者特定のために必要な顔画像の解像度に関する条件は、最近の道路交通違反情勢を反映して変化してきている。

具体的には、道路交通違反の累犯者に対する罰則が強化されたことで行政処分を免れるために血縁者等による「身代わり」出頭が増えており、これを防止するために、解像度の高いものが求められるようになってきているということである。

交通取締りなどにおける車両監視を想定した撮影実験概要

超高感度撮像システムを用いることで、上記用途での要求性能を満たすことができるか検証するため、交差点など特定のエリア内での交通違反取締りや、障害物や事故などの道路交通障害監視などの場面を想定した撮影実験を行った。実験の概要を以下に示す。

(目的)

交通取締りなどにおける車両監視における超高感度撮像システムの有効性評価

(主な評価項目)

- ・ 夜間の低照度条件(10ルクス程度)において、車体の形状や色、ナンバープレート、車内の人物などの特徴検出性能を評価する。
- ・ 上記のように周辺が低照度となる条件で、ヘッドライトなど高輝度のスポット光源を画面内に入れ、白つぶれなどの画像劣化に対する耐性を評価する。

(撮影条件)

- ・ 超高感度撮像システムであるハイビジョンHARPカメラSK-H5000と一般的な放送用ハイビジョンCCDカメラを用いて、同時に撮影を行い、それぞれの映像を比較する。
- ・ 交差点などでの車両監視カメラにならない、画角は広角で固定して撮影を行う。
- ・ 屋外の照明は既設の水銀灯のみとし、車両周辺の平均照度は8ルクス程度とする。
- ・ 車両が停車状態の場合と走行状態の場合で各々撮影する。
- ・ ヘッドライトが点灯している場合と消灯している場合で各々撮影する。
- ・ カメラから車両までの距離は3m、5m、10m、20mとし、各々撮影する。
- ・ 車内の人物と同時にチャートも撮影し、解像度、階調表現、色再現性の評価も同時に行う。
- ・ レンズのアイリスは、F2.0、F5.6、F11で各々撮影する。
- ・ 撮影は高感度モードと低感度モードでそれぞれ行う。カメラの設定条件を以下に示す。

	高感度モード	低感度モード
ハイビジョンHARPカメラ	HARP増倍率 ×200	HARP増倍率 ×2
ハイビジョンCCDカメラ	アンプゲイン +18dB	アンプゲイン 0dB

撮影実験結果

撮影画像を図09から図16に示す。撮影時の条件は以下のとおりである。

カメラの感度モード：高感度モード ... 図09、図10、
図11、図12、図13、

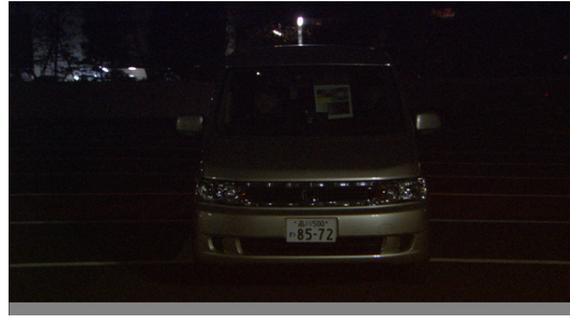
図 14、図 15、図 16
低感度モード ...
(図を省略)

車両の状態	: 停止	...	図 09、図 10
	: 走行	...	図 11、図 12、図 13、 図 14、図 15、図 16
ヘッドライト	: 消灯	...	図 09、図 11、図 12、図 13
	: 点灯	...	図 10、図 14、図 15、図 16
車両までの距離	: 3m	...	図 13、図 16
	: 5m	...	図 09、図 10
	: 10m	...	図 12、図 15
	: 20m	...	図 11、図 14

全ての図において、左側{(a)(c)(e)}はハイビジョン HARP カメラによる撮影画像、右側{(b)(d)(f)}はハイビジョン CCD カメラによる撮影画像である。また、(a)(b)は F2.0、(c)(d)は F5.6、(e)(f)は F11 にレンズのアイリスを固定して撮影した映像を示す。



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 09 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト off、車両停止状態、車両までの距離 約 5m)
(車内 : 3ルクス、車外 (ナンバープレート付近) : 8ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)

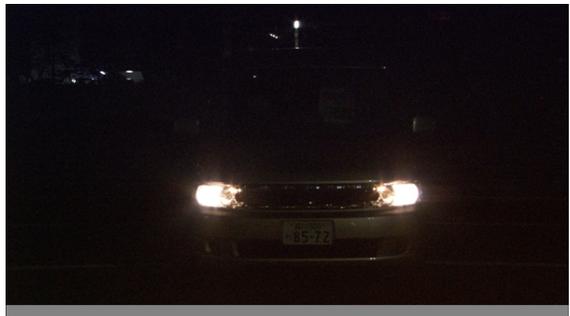


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 10 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト on、車両停止状態、車両までの距離 約 5m)
(車内 : 3ルクス、車外 (ナンバープレート付近) : 8ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)

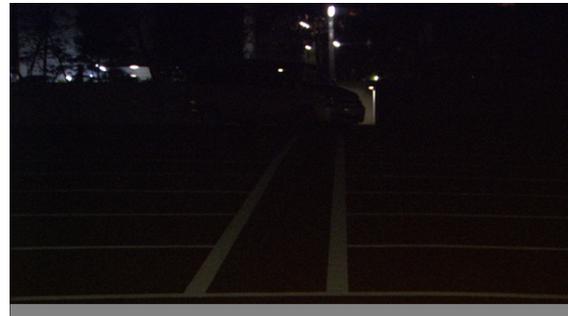


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

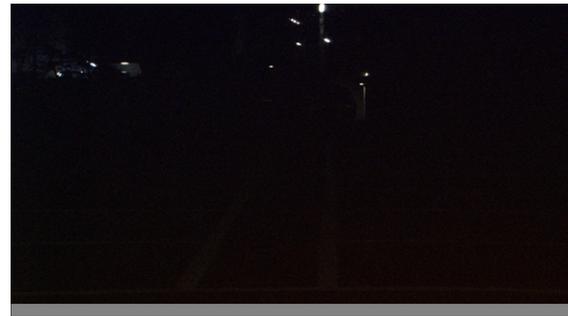


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



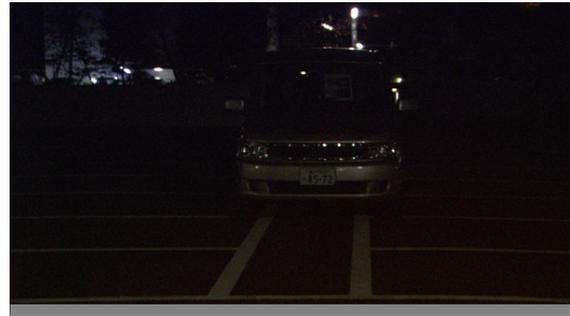
(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 11 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト off、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 20m)
(車内: 3ルクス、車外(走行場所周辺): 8ルクス、車両までの距離 約 20m)



(a) HARP (増倍率 200)

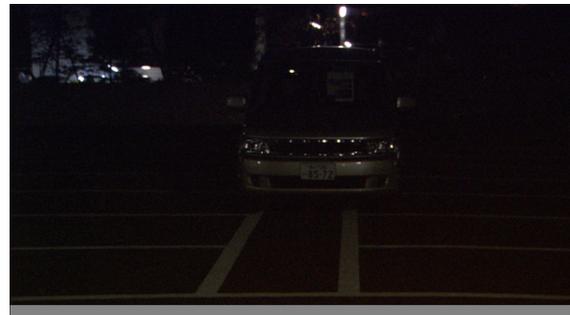


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 12 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト off、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 10m)
(車内 : 3 ルクス、車外 (走行場所周辺) : 8 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

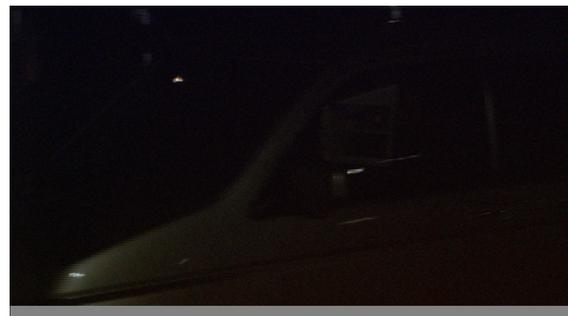


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 13 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト off、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 3m)
(車内: 3ルクス、車外(走行場所周辺): 8ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)

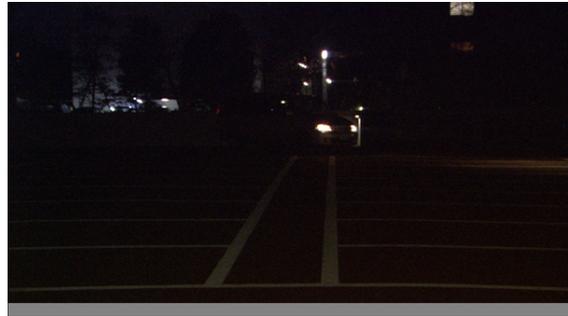


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0

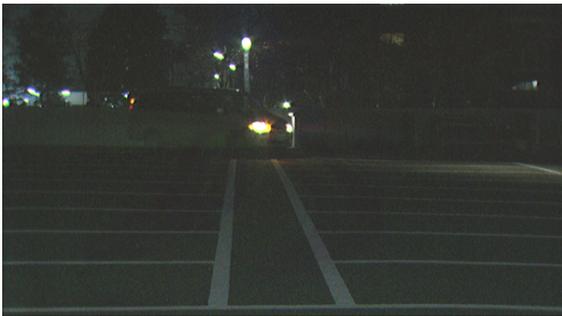


(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 14 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト on、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 20m)
(車内 : 3 ルクス、車外 (走行場所周辺) : 8 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

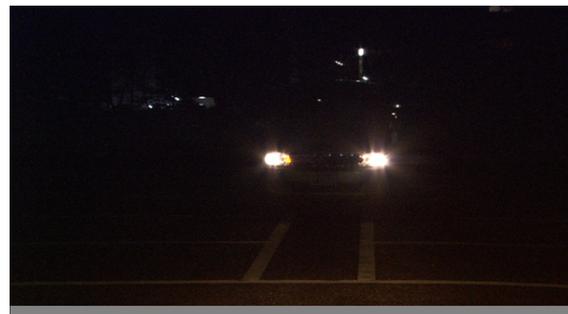


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 15 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト on、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 10m)
(車内 : 3 ルクス、車外 (走行場所周辺) : 8 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

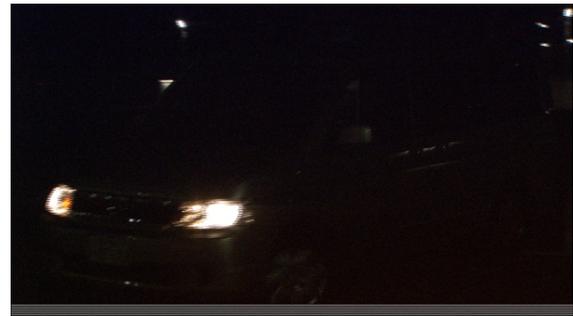


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 16 交通取り締まりなどにおける車両監視を想定した撮影実験
(高感度モード、ヘッドライト on、車両走行状態(速度 10km/h)、車両までの距離 約 3m)
(車内 : 3 ルクス、車外 (走行場所周辺) : 8 ルクス)

実験結果解析

(車両や車内の人物の特徴検出性能)

本実験のように、車両周辺の平均照度が8ルクス程度と暗い場合には、高感度モードでの撮影が有効である。特にヘッドライト無灯火(図09、11、12、13)の場合、画面に画像不良の原因となるハイライト光源が無いいため、HARPカメラの高感度特性を最も有効に活用することができる。

- ・ 図09のようにヘッドライト無灯火で停車中の車両を撮影した場合、アイリス開放時の画像を(a)HARPと(b)CCDで比較すると、車内や車両周辺などの低照度領域の再現性に大きな差が確認できる。HARPでは、優れた階調・色再現性で、車内の人物の容貌や服装、車両の影となる領域などが細部まで描写できており、同時に比較的照度の高い領域にあるナンバープレートなども鮮明に撮影できている。一方で、CCDの画像では、ナンバープレートは観察することができるが、車内や車両周辺などの低照度領域は黒つぶれしてしまい、細部を観察することは困難である。以上より、HARPの暗部の階調表現力によって、低照度側のダイナミックレンジが、大きく伸びていることがわかる。
- ・ ヘッドライト無灯火で、低速走行(時速約10km/h)する車両を撮影した場合(図11、図12、図13)でも、アイリス開放時の(a)HARPと(b)CCDで、低照度領域の再現性に大きな違いがみられる。図11は、カメラから20m程度の距離を走行する車両を撮影した画像である。(a)HARPでは、車体の形状や色を確認することができるが、(b)CCDでは、車両周辺が黒つぶれしており、車体の輪郭の確認も困難である。図12は、カメラから10m程度の距離を走行する車両を撮影した画像である。HARPの画像からは、運転席、助手席に人物がおり、助手席の人物がチャートを持っていることがわかるのに対し、CCDの画像では、車内を観察することはできない。また、双方ナンバープレートは確認できるが、HARPではより鮮明に撮影できている。図13は、カメラの近く(約3m)を通過する車両を撮影した画像である。(a)HARPと(b)CCDで、車内の描写に大きな差があることがわかる。HARPでは、車内の人物の容貌や服装、人物の持つチャートなどを明確に確認できるが、CCDでは、ほとんど人物は確認できず、反射率の高いチャートの周辺部が見える程度である。また、図13では、動きにより、被写体が多少ぶれていることがわかる。交通取締りなどでの実用化を考えた場合、より高速で動く被写体を鮮明に捉える必要があり、撮影フレームレートの高速化も課題となる。
- ・ 低感度モードでは、HARPも通常のカメラと大差ない感度となる。画面全体の照度が10ルクス以下となるような状況では、CCD同様、暗部は撮影することができない。しかし、前項の実験でも示したように、低感度モードによって、昼間などの明るい状況でも、通常のカメラと等しい画質で撮影することが可能である。

(高輝度スポット光源に対する耐性)

カメラを高感度モードに設定し、低照度での撮影を行っている時に、ヘッドライトなどの高輝度なハイライト光が画面内に入射した場合の画像劣化などの影響について評価した。(図10、図14、図15、図16)

- ・ 画面内にハイライト光が入射している場合でも、暗部の画質は、カメラの感度特性に依存する。HARP を高感度モードに設定すれば、優れた階調表現力や色再現性を持って暗部を撮影できる。図 10 の停車状態でヘッドライトを点灯した際の(a)HARP と(b)CCD の画像を比較すると、HARP では車内の人物の容貌や服装、車両の影となる領域などが細部まで描写できていることがわかる。しかし、ヘッドライトについては、実際のライトの大きさよりも大きく膨れ上がっており、ライト周辺部の画質に影響を及ぼしている。これは、多量に生成された信号電荷に引き寄せられて、読み出しビームがベンディングを起こした影響によるものである。今回の実験では、特にナンバープレートの判別などには影響が無かったが、実用の際には、ハイライト光の処理が課題となる。
- ・ ヘッドライトを点灯して、低速走行(時速 約 10km/h)する車両を撮影した場合(図 14、図 15、図 16)でも、アイリス開放時の(a)HARP と(b)CCD で、低照度領域の再現性に大きな違いがみられる。図 14(a)のように、ハイライト光が十分遠方にあり、カメラへの入射光量が少ない場合には、画像劣化などは生じづらく、車両の形状などを細部まで捉えることができる。しかし、図 15(a)のように近距離で正面からヘッドライトが照射されるような状況では、上述したような読み出しビームのベンディングによる画像不良が生じる。さらに車両がカメラへ近づいて、図 16(a)のようにハイライト光が画面外へと外れたときでは、図 13(a)と変わらず、車内の人物の容貌や服装、人物の持つチャートなどを明確に確認できる。
- ・ ヘッドライトを点灯しながら走行する車を HARP カメラで撮影した場合(図 14、図 15、図 16)ヘッドライトの軌跡上に焼付きが生じていることがわかる。これは、HARP 撮像デバイスの光電変換膜内に電荷がトラップされるために、ハイライト光が入射した箇所だけ膜内部の電界が変化して生じる現象である。多数のハイライト光が入射すると考えられる、交通取締りなどへの実用化に際しては、ハイライト入射時の焼付きが少なくなるような光電変換膜の設計も課題となる。
- ・ 低感度モードでは、HARP も通常のカメラと大差ない感度となる。画面大部分の照度が 10 ルクス以下となるような状況では、CCD 同様、暗部は撮影することができない。しかし、低感度モードでは、ヘッドライトなどのハイライト光に対する感度も低下するため、上述したようなベンディングによる歪みや、焼付きなども生じない。

以上より、交通取締りなどでの車両監視を想定した撮影実験における HARP の評価をまとめると、

画面内にヘッドライトなどのハイライト光の入射が無く、全体の照度が 10 ルクス以下の撮影では、通常のカメラと比較して階調表現、色再現性に優れ、車両の外観や運転者の容貌、服装といった特徴検出に有効である(図 09、11、12、13 のそれぞれ(a)と(b)を比較)。

ヘッドライトなどの強い光が入射する場合でも、車内や車両の陰などの暗部については、HARP の高感度性は有効であり、優れた階調表現力や色再現性を持って暗部を撮影できる(図 10、14、15、16 のそれぞれ(a)と(b)を比較)。しかし、ヘッドライトなどのハイライト光入射部では、読み出しビームのベンディングによる歪みや、焼付きなどの画像不良現

象が生じる（図 10、14、15、16）。

低感度モードで駆動した場合、通常のカメラと同等の感度となり、今回のような低照度での撮影には適さないが、昼間など画面全体の照度が高い場合には、通常のカメラと同等の画質の映像が得られる。

要求性能からの評価・課題

今回の実験で得られた画像の中から、解像度の高いと思われる写真（写真 1：図 09 の(a)と同じ）及び写真と同じ条件で撮影された動画像を対象に、交通違反取締りへの利用可能性を評価すると以下ようになる。

車両の挙動（停止、発進、右左折等の定性的なもの）の把握は可能と判断される。

車両登録番号の判読については、概ね可能と判断される。

運転者の特定については、困難と判断される。

なお、自動速度取締り装置を使った経験を持つ者にどの程度の精細度が必要であるかについて、静止画である写真 2、写真 3 に対する評価を求めたところ、「写真 2 であれば、利用可能では」との回答であった。写真 2 及び 3 の違いについては印刷ではその違いが明確でないかもしれないが、拡大することで、写真 3 では不十分であることがわかる（写真 4、写真 5）。

現在の自動速度交通取締り装置が収集する画像は、静止画として撮影されたものである。一方、HARP では動画像を撮影しているために、現在の自動速度取締り装置と同様な利用を行なう場合には、記録した動画像から静止画像を抽出して利用することになる。しかし、動画像の 1 フレーム分を利用する場合、動画像は同じ画素数であっても静止画像に比べて解像度が落ちる。



写真 1 HARP による画像（図 09 の(a)と同じ）



写真 2 検討用の静止画像 1



写真 3 検討用の静止画像 2



写真 4 検討用の静止画像 1 の拡大



写真 5 検討用の静止画像 2 の拡大

この問題の解決方法としては、動解像度の向上以外に、ビデオ画像の解像化（例えば、複数の画像データ重ね合わせ）があげられる。しかし、この方法は、車両番号読取りには効果が期待できるが、顔画像については、現段階では効果が期待できないと考えられる。

その技術的理由として、車両番号の特定については、結果が限られた文字の中に存在することが事実であるために得られたデータの正確性を確認することは容易であるが、多種多様な人の顔画像については、処理の後のデータの正確性の確認が困難なためである。

特に、解像度の低い画像では、血縁者等類似の容貌を持つ者に対する識別が困難と考えられる。

課題への対策案

以上の結果から、現在の HARP 画像を自動速度取締り等、顔画像によって運転者の特定を行う取締りに利用することは、対象が高速で移動する場合には動解像度が不足するために困難であり、今後、動解像度の向上が課題となる。

参考文献

- [1] “ 捜査のための法科学 第一部(法生物学・法心理学・文書鑑識) ”, 令文社 pp161-170 , (2004)
- [2] “ 捜査のための法科学 第二部 (法工学・法化学) ”, 令文社 pp164-165 , (2004)

(3) 高所からの空港・港湾などの施設監視を想定した撮影実験

高所からの空港・港湾などの施設監視用途における 撮像システムへの要求性能

9.11 同時多発テロをきっかけとして、米国で C-TPAT(Customs–Trade Partnership Against Terrorism)と呼ばれるテロ行為防止のための税関産業界提携の枠組みが作られた。もともとは、米政府が 2003 年、CBP (税関・国境警備局) による監督のもと、国際供給網にともなう国家安全保障を強化する目的で整備された認証プログラムである。しかしながら、C-TPAT は、もともとが国際物流/貿易に関するプログラムであることから、このような取り組みは基本的に米国一国のみの対応では意味をなさない。そのため、この認証プログラムを、国際税関機構(WCO)を通して国際ガイドライン化する動きが本格的になってきた。実際に、2005 年に発表された WCO 版 C-TPAT をベースとして、SAFE(Security and Facilitation in a Global Environment)規格の枠組みに基づいたガイドラインである AEO(Authorized Economic Operator)基準を策定しようという具体的アプローチが各国でなされ始めている。

国際貿易が国としての生命線である日本も、この国際的な流れと決して無関係であることはできなく、現在、日本版 AEO 基準を策定しようという動きのまっただ中にある。具体的には、2008 年度末頃の日本版 AEO 基準の完成を目指し、安全かつ効率的な国際物流の実現のための施策パッケージ策定(「安全かつ効率的な国際物流の実現」に関する関係省庁調整会議[経産省、国交省等 7 省庁参加]、2005 年 3 月)、「物流事業者による保安措置の強化に関するガイドライン」策定(2006 年 3 月)等の動きがある。

この米国発 C-TPAT に端を発した一連の流れが、超高感度撮像システムの普及・実用化の追い風になる可能性が大いに期待できる。

日本は島国であることから、テロにつながる可能性のある密入国、密貿易等の不法行為は、主に港湾、空港などで行われる。実際に、港に停泊した船から、夜陰に紛れて密輸品を運び出したり、輸入貨物のコンテナに隠れて密入国を試みたりする事件が摘発されている。これらの取り締まりは税関、法務省等が警察と協力して、主に人海戦術であたっているが、島国であるがゆえの海岸線の長さから、全ての港にまで、なかなか手が回らないのが現状である。

密入国、密貿易等の不法活動は、港、そして空港において、夜陰に紛れて行われることが多いのは前述のとおりである。しかしながら人は、本当の真っ暗闇では自らの視覚が奪われるために活動できないという宿命を持つため、活動に当たっては、どうしてもある程度の照明を必要とする。ここに超高感度撮像システムが活躍する場がある。

例えば、夜間、停泊した船、コンテナヤード等に向けて超高感度撮像システムを向け、得られる画像に対して、モーションセンシング等の画像処理を施すことにより、怪しい動きを捉えることが可能となる。人が常にその場所で警戒(立哨)しなくても良くなるため、警備の大幅な効率化が期待できる。

また、テロの目標になりうる海に面した施設である、原子力発電所、石油化学コンビナート等も、超高感度撮像システムによる監視・哨戒が有効なターゲットしてあげられる。

この特殊施設の監視・哨戒を考える場合においても、防犯・監視カメラシステムが持つ「撮影環境、撮影対象、及び撮影タイミングを特定できない」宿命は依然として存在する。そのため、先に、一般の監視用途の項で述べたのと同様の理由により、超高感度撮像システムに期待するところは大きい。

この用途は、一つめは、売り場等の一般民間環境を監視する場合と異なり、国家レベルのセキュリティに関係すること、二つめは、システムの導入により捜査員数を具体的に減らせることから費用対効果を明確にしやすいこと、の二つの理由により、通常の用途の防犯・監視カメラシステムでは宿命として要求されるコスト要求が、あまり大きくない点も注目される。

防犯・監視カメラシステムとしての超高感度撮像システムの実用化・普及は、この分野からスタートし、量産化・低廉化に関して、ある程度の目処がついてきた時点で売り場等の一般民間環境を監視する用途の開発が始まるものと考えてるのが妥当であろう。

高所からの空港・港湾などの施設監視を想定した撮影実験概要

超高感度撮像システムを用いることで、上記用途での要求性能を満たすことができるか検証するため、空港や港湾など、十分な照明を得ることが困難な箇所が存在する広いエリアを、管制塔やビルなどから監視する場面を想定した撮影実験を行った。実験の概要を以下に示す。

(目的)

高所からの空港・港湾などの施設監視における超高感度撮像システムの有効性評価

(主な評価項目)

- ・ 広いエリアを高所から広い画角で撮影した際に、低照度(1~10ルクス程度)な箇所にいる人物などを探知する性能を評価する。
- ・ 上記の条件で探知した人物をズームアップし、低照度下での人物の容貌や服装といった特徴検出性能を評価する。

(撮影条件)

- ・ 超高感度撮像システムであるハイビジョンHARPカメラと一般的な放送用ハイビジョンCCDカメラを用いて、同時に撮影を行い、それぞれの映像を比較する。
- ・ 屋外の照明は撮影エリア周辺に既設の水銀灯のみとする。照度は、水銀灯近傍で75ルクス程度、水銀灯から距離のある場所では1ルクス程度である。
- ・ 港湾施設などでの広域監視を想定し、カメラは地上高20m程度に位置する室内に設置し、画角は広角で固定して撮影を行う。
- ・ 上記と同じ条件で、人物周辺をズームアップした場合の撮影も行う。
- ・ 人物と同時にチャートも撮影し、解像度、階調、色再現性の評価も同時に行う。
- ・ レンズのアイリスは、F2.0、F5.6、F11で各々撮影する。
- ・ 撮影は高感度モードと低感度モードでそれぞれ行う。カメラの設定条件を以下に示す。

	高感度モード	低感度モード
ハイビジョン HARP カメラ	HARP 増倍率 ×200	HARP 増倍率 ×2
ハイビジョン CCD カメラ	アンプゲイン +18dB	アンプゲイン 0dB

撮影実験結果

撮影画像を図 17 から図 20 に示す。撮影時の条件は以下のとおりである。

カメラの感度モード： 高感度モード ... 図 17、図 18、図 19、図 20
 低感度モード ...
 (図を省略)

人物の周辺照度 : 75 ルクス ... 図 17、図 18
 1 ルクス ... 図 19、図 20

画角 : ルーズ ... 図 17、図 19
 タイト ... 図 18、図 20

全ての図において、左側{(a)(c)(e)}はハイビジョン HARP カメラによる撮影画像、右側{(b)(d)(f)}はハイビジョン CCD カメラによる撮影画面である。また、(a)(b)は F2.0、(c)(d)は F5.6、(e)(f)は F11 にレンズのアイリスを固定して撮影した映像を示す。



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)



(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 17 高所からの施設監視を想定した撮影実験
(高感度モード、水銀灯下の明部(破線丸中)に人物在、撮影場所の地上高約 20m)
(水銀灯下の明部: 75 ルクス、芝生中央あたりの暗部: 1 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)



(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0



(c) HARP (増倍率 200)

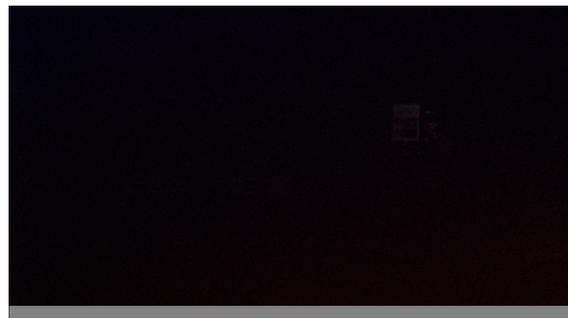


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 18 高所からの施設監視を想定した撮影実験
(高感度モード、図 17 の人物近傍をズーム撮影、撮影場所の地上高約 20m)
(水銀灯下の明部：75 ルクス、芝生中央あたりの暗部：1 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)

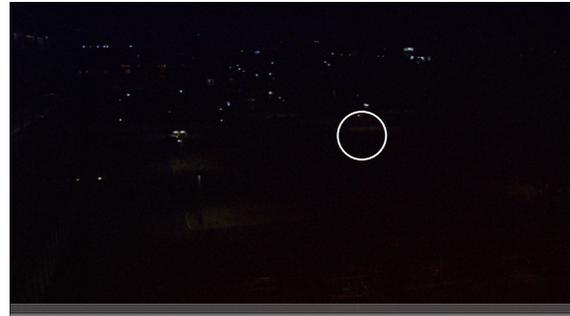


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0

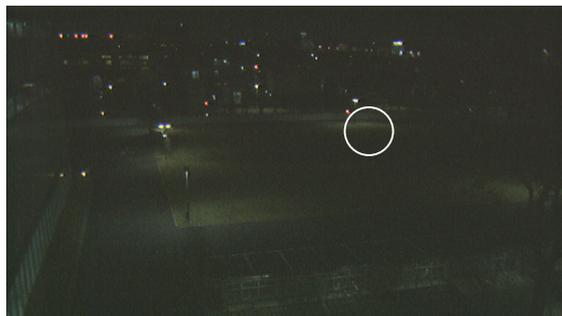


(c) HARP (増倍率 200)

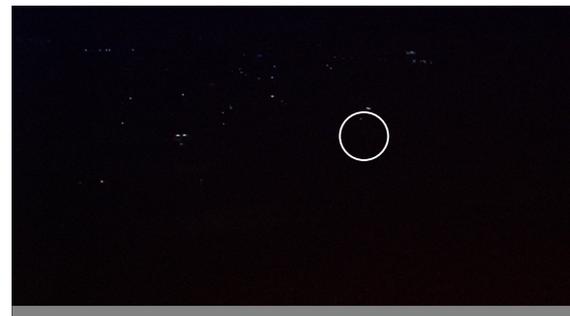


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 19 高所からの施設監視を想定した撮影実験
(高感度モード、芝生中央あたりの暗部(破線丸中)に人物在、撮影場所の地上高約 20m)
(水銀灯下の明部: 75 ルクス、芝生中央あたりの暗部: 1 ルクス)



(a) HARP (増倍率 200)

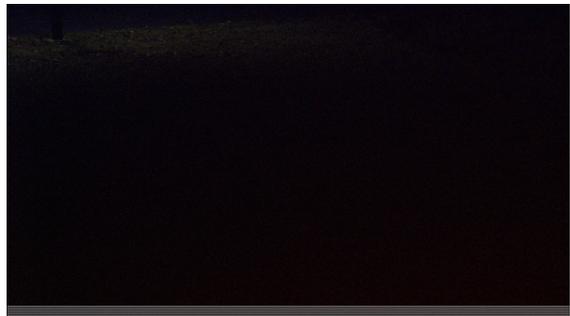


(b) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 2.0

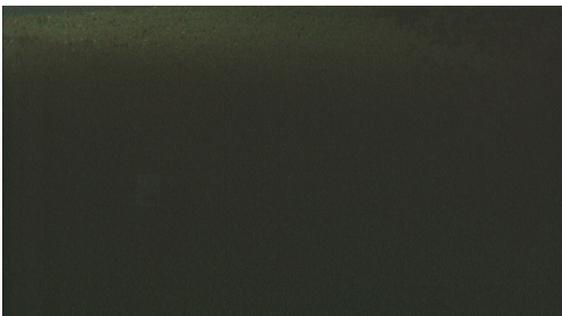


(c) HARP (増倍率 200)

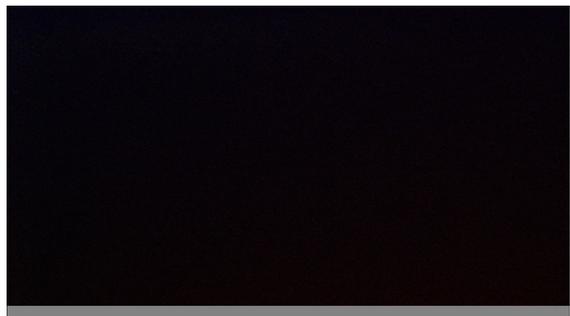


(d) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 5.6



(e) HARP (増倍率 200)



(f) CCD (アンプゲイン +18dB)

F 11

図 20 高所からの施設監視を想定した撮影実験
(高感度モード、図 19 の人物近傍をズーム撮影、撮影場所の地上高約 20m)
(水銀灯下の明部：75 ルクス、芝生中央あたりの暗部：1 ルクス)

実験結果解析

(低照度での広範囲探索性能)

図 17、図 19、のように、照度が低いなか(水銀灯直下 75 ルクス、芝生広場中央 1 ルクス)、広いエリアを広角で撮影し、その中にいる人物を探索することができるかについて評価を行った。

- ・ 水銀灯直下など、比較的明るい場所に人物がおり、カメラを高感度モードに設定して撮影した場合(図 17)、人物の探索性能において HARP の有効性が確認できる。例として、図 17 の(a)と(b)を比較すると、(a)の HARP の画像では、水銀灯直下にいる人物(図中、白い破線丸内)の輪郭を明確に判別することができる。一方、(b)の CCD 画像では、水銀灯下に物体を確認できるが、それが人物であるかを判別することは困難である。また、このように遠方からの広角撮影においては、水銀灯などが画面内に入射しても、画像不良などの影響はほとんど無く、HARP の高感度特性を十分に活用できていることがわかる。
- ・ 図 19 のように、人物が暗い場所(図中、白い破線丸内)にいる場合、HARP の有効性はより明らかとなる。(a)と(b)を比較すると、CCD で黒つぶれしてしまう暗部でも、HARP では豊かな階調と色再現性を持って撮影ができており、白い破線丸内にいる人物を確認することができる。また、周辺の芝生の濃淡や、背後の建物の細部まで描写されているため、広範囲の状況把握が容易である。
- ・ 低感度モードでは、HARP も通常のカメラと大差ない感度となるため、低照度の撮影では、CCD 同様、暗部は撮影することができない。低感度モードによって、昼間などの明るい状況でも、通常のカメラと等しい画質で撮影することは可能であるため、周辺の明るさに応じて、高感度モードと低感度モードを切り替えることで、24 時間の監視にも対応可能である。

(人物の特徴検出性能)

図 18、図 20 は、図 17、図 19 と同じ条件で、人物をズームアップした画像である。これらの画像から人物の容貌や服装などの特徴検出性能を評価する。

- ・ カメラを高感度モードに設定し、水銀灯直下にいる人物をズームアップして撮影した場合(図 18)、HARP は人物の容貌や服装などの特徴を明確に捉えられていることがわかる。また、豊かな階調表現や色再現性によって、人物の服装などのわずかな色の違い(黒い帽子、茶色い上着、黒いズボン、茶色の靴)も判別できていることがわかる。CCD の画像と比較しても、より詳細な人物の特徴を観察することができる。
- ・ 同様に、高感度モードで、暗いエリアにいる人物をズームアップして撮影した場合(図 20)でも、CCD では黒つぶれして全く人物を認識することができないような暗部において、HARP では人物の輪郭を明確に確認することができる。この照度では肉眼でも人物を認識することは困難であり、HARP の監視カメラとしての有効性を確認できる。
- ・ カメラを低感度モードとした場合、この照度条件ではほとんど人物を確認すること

ができないが、上述しているように、昼間など、全体の照度が高い場合には通常のカメラと同等の撮影ができるモードとして有効である。

以上より、高所からの空港・港湾などの施設監視を想定した撮影実験における HARP の評価をまとめると、

通常 CCD カメラと比較して、広範囲なエリア内での人物などの探索性能は、極めて高いことがわかる（図 17、図 19 のそれぞれ(a)と(b)を比較）。また、周辺の状態も、優れた階調、色再現性をもって表現できるため、把握が容易である。

人物周辺にズームアップした場合、照明下であれば容貌や服装といった特徴を明確に捉えることができ、無照明の場所においても、わずかな光で人物の輪郭を撮影することができる。（図 18、図 20 のそれぞれ(a)と(b)を比較）

低感度モードで駆動した場合、通常のカメラと同等の感度となり、今回のような低照度での撮影には適さないが、昼間など、画面全体の照度が高い場合には、通常のカメラと同等の画質の映像が得られる。

要求性能からの評価・課題

ここまでの一連の検証実験の結果からも明らかなように、CCD カメラではほぼ真っ暗で何の情報も撮れない 1 ルクス程度の闇に潜んだ人物を、HARP カメラは十分に視認可能な映像で暴き出している。

一般に防犯の世界では、肉眼で 4m 先の人物の挙動や姿勢などを判別するために 3 ルクス程度の照度が必要であると言われる¹。実際に、これ以下の照度しかない環境では人は視覚を奪われ、自由に行動することが難しくなる。人が自由に行動できるとは言えない、1 ルクス程度の明るさの環境においても HARP カメラによる超高感度撮像システムでは、十分に監視に必要な情報を撮ることが可能であると言える。

今回の検証実験で確かめられた HARP カメラによる超高感度撮像システムを夜間広域監視に用いた場合の性能は、要求されるレベルを十分に満たしている。冒頭にあげた理由により、システムへのコスト要件があまり厳しくなく、かつ国際的な社会背景が導入促進に追い風を送っている状況下において、夜間の広域施設監視用途への、HARP カメラによる超高感度撮像システムの実用化・普及は十分に期待できると言える。

HARP カメラは、撮像性能面においては現状においても十分に実用レベルに達していると判断できるため、この方面からの課題は多くない。一方、広域監視用途として屋外高所に設置する必要性から、本当に実用に供する際には、設置性、メンテナンス性の観点から、その大きさ、堅牢性、寿命等の面で検討の余地は残るものと考えられる。

¹ この理由により、夜間の公園は 3 ルクス以上の明るさが必要であるとされ、公園における照明灯設置の基準となっている。

課題への対策案

上記課題は、現時点で実現している撮像管 HARP カメラにおける課題であるため、現在開発が進められている冷陰極 HARP 撮像板方式による HARP カメラの実現により、その多くは解決可能である。

そうすると残る課題はただ一つ、コストである。確かに、特殊施設の夜間広域監視に限れば、先に述べたようにコスト要求はあまり厳しくないものの、多くのカメラを使うためには、安価であるに越したことはない。また、コストが安価になれば特殊施設のみならず、一般における広域監視にも道が開かれる。冷陰極 HARP 撮像板実現への課題が解決された後の検討フェーズには、冷陰極 HARP 撮像板のコストダウンへの方法検討も視野に入ってくるのが想定される。

「価値を目に見える形では創造しない」というセキュリティ対策一般に言える宿命から、低廉化に関してある程度の目処がつかないと、いかに性能が良くても、一般民間環境を監視する想定での用途開発は難しくなる。

3-2 . 高画質・高感度撮像デバイスの改良

(1) 高効率・高信頼性 HARP 光電変換膜の試作

緑色増感型 HARP 膜の設計

昨年度は、緑色、及び、赤色増感を目的に、長波長光を吸収しやすいテルル (Te) を添加した HARP 膜の試作を行った。試作膜を撮像管に組み込んで行った評価結果から、540nm の緑色光に対する光電変換効率が従来と比較して 2 倍以上改善されていることを確認した。しかし、初期状態で画面上に白キズ (膜欠陥) が発生しており、さらに長時間動作に伴って無数のキズが発生するなど、動作安定性の点で問題点を残す結果となった。

本年度は、課題であった動作安定性・信頼性の向上を目的に、HARP 膜構造の再設計を行った。白キズの発生は、Te の添加量を増やしたことにより、HARP 膜内に捕獲される電子数が増大し、局所的な電界集中が膜内に生じることに起因すると考えられる。そこで、アモルファスセレン (a-Se) 層の光入射側界面近傍にフッ化リチウム (LiF) を添加することで層内の電界を緩和し、白キズの発生等を抑制することとした (図 21 上)。この層が厚いほど電界緩和効果は大きくなり、白キズ発生等は抑制されるが、一方で、本電界緩和効果及び Te 添加層までの距離が長くなることから、a-Se 層の比較的の表面近くで吸収されやすい緑色光に対しては Te 添加による増感効果が低下すると考えられる (図 21 下、図 22)。

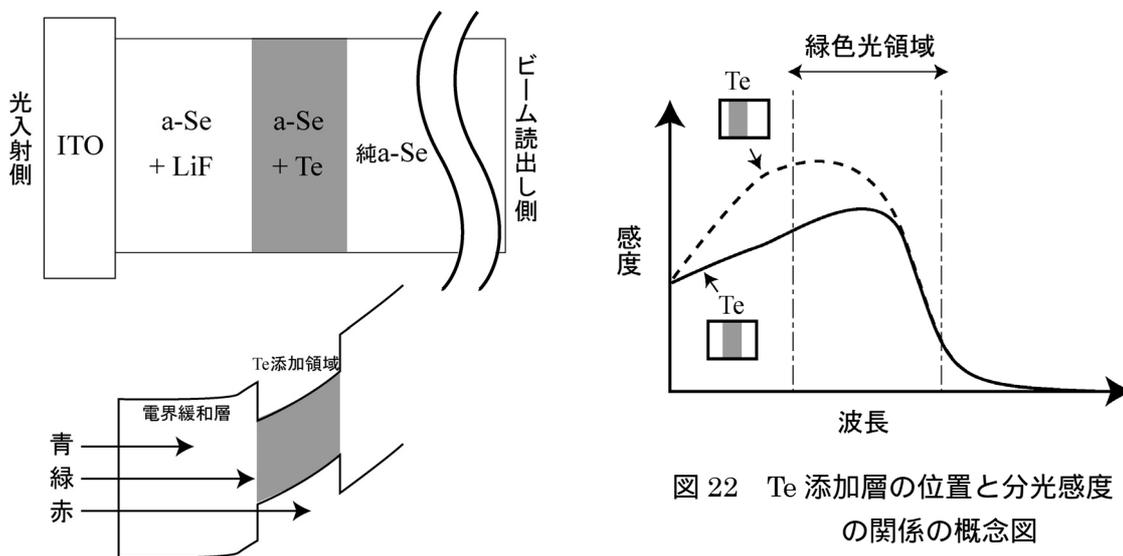


図 21 Te 添加による増感構造

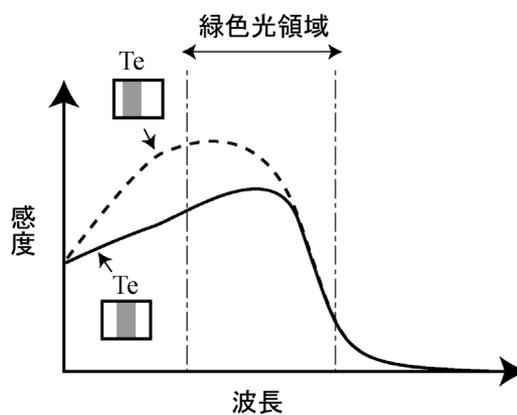


図 22 Te 添加層の位置と分光感度の関係の概念図

このように、緑色光感度と膜の信頼性はトレードオフの関係となるため、それらを両立できる LiF 添加条件の探索を行った。予備実験による検証の結果、白キズ発生抑制効果を損なわずに Te 添加層までの距離を短縮できる LiF の添加幅や濃度条件を見い出すことができ、これを基に、高い緑色光感度と高信頼性を両立する HARP 膜の構造を決定した。

緑色増感型 HARP 膜の試作

膜の試作は浜松ホトニクス（株）のスーパークリーンルーム内にある製造プロセスラインで行った。成膜した HARP 膜については、デマンタブル装置によりブレイクダウン電圧測定、画面欠陥評価を実施しており、これにより成膜前のプロセス・材料等と成膜後の外来異物・膜構造に起因する欠陥等、画面状態に対する定性的知見を得ることができる。

アバランシェ増倍現象を利用した HARP 膜の試作において重要となる要素の一つは、膜厚の均一性である。電流 - 電圧特性の測定結果から、試作膜のアバランシェブレイクダウン電圧は 1580 ~ 1600V の範囲であり、また、感度の均一性（シェーディング）は各膜で全て良好であり、膜厚の均一性に問題ないことを確認した。さらに、白キズの発生状況を検査したところ、アバランシェ動作時の初期キズは 0 ~ 3 個の範囲であり、印加ターゲット電圧をさらに高くしたブレイクダウン時においても 1 ~ 5 個の発生に留まっていた。

(2) 緑色増感型 HARP 膜の評価

(1)項で述べた緑色増感型 HARP 膜を組み込んだ 2/3 型撮像管（緑色増感型 HARP 管）を試作し、その特性を評価した。

電流-電圧特性

緑色増感型及び従来型の HARP 管に緑色光を入射したときの、HARP 膜印加電圧と出力信号電流、暗電流の関係を図 23 に示す。両管とも HARP 膜印加電圧が 1200V 以上でアバランシェ増倍による急激な信号電流の増加が認められた。この電圧以下ではアバランシェ増倍は生じていないため、一次光電変換電流は信号電流と等しくなる。アバランシェ増倍時の一次光電変換電流は、非アバランシェ増倍時の信号電流曲線を外挿（図 23 の破線部分）することで推定できる。緑色増感型では、従来型に比べて、一次変換電流が約 1.5 倍に改善できたことがわかった。また、緑色増感型の暗電流は実用上問題ないレベルである。

光電変換効率

図 24 に、緑色増感型及び従来型 HARP 管の光電変換効率を示す。HARP 膜印加電圧は約 1200V とし、光電変換効率の値は各最大値で正規化してある。この結果から、緑色増感型では、従来型に比べ、入射光の長波長側（緑 ~ 赤色光）で光電変換効率が改善されていること、また、波長 540nm のときの光電変換効率は、従来の 1.3 倍以上に改善されていることが確認できた。

動作安定性

前項で述べたように、今回、緑色増感 HARP 膜を試作した際の初期白キズはアバランシェ動作時で 0 ~ 3 個程度というレベルであった。さらに、長時間の動作による動作安定性の検証を行ったところ、新たな白キズの発生は観察されず、光入射側界面から Te 添加層までの距離（電界緩和層幅）を短縮したにも係わらず、信頼性の著しい劣化は無いことを確認した。

以上の試作実験結果から、Te 添加層を光入射側に近づけることにより緑色光感度の増加を望むことができ、かつ LiF 添加条件を工夫することで白キズに対する安定性も保持できることがわかった。しかし、前年度と比較すると Te の添加量が減少しているため、緑色光に対する感度改善効果が若干低下している。今後、より最適な LiF ドーピング条件を探るなど、さらに Te 添加総量を増加した場合でも動作安定性を保持できる緑色増感膜の構造について検討する。

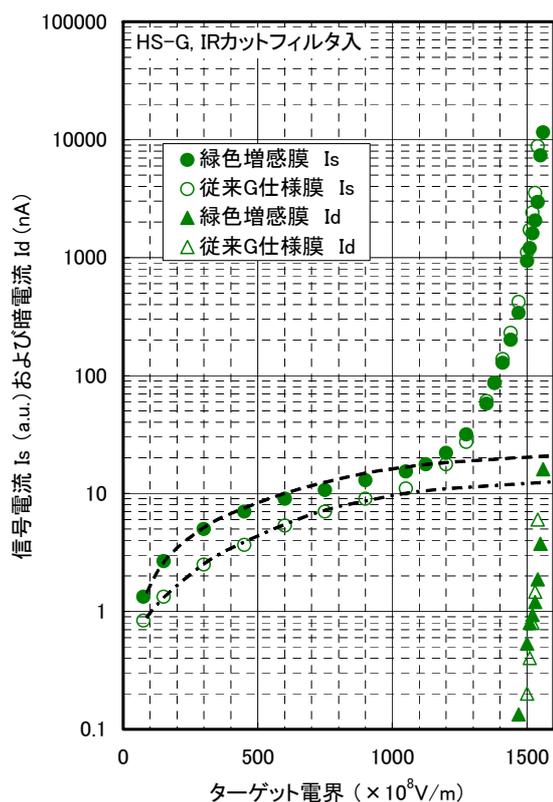


図 23 緑色増感型 HARP 膜と従来型 HARP 膜の電流-電圧特性

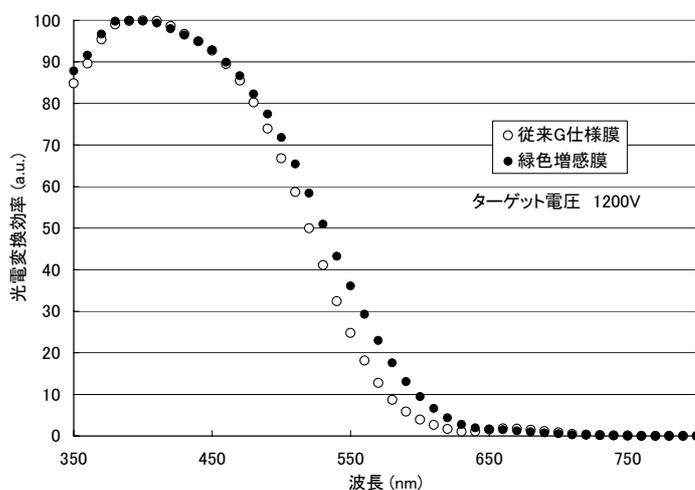


図 24 緑色増感型 HARP 膜と従来型 HARP 膜の光電変換効率

3-3 . 高感度カメラの高画質化、多機能化、操作性の改善

監視分野などにおいて、広角で撮影した画面から、その一部に写った人物の容貌や特徴を捉える必要がある場合、画面の周辺部に至るまで高画質であることが要求され、画像不良などは極力抑制する必要がある。しかし、本スタディで検討している超高感度撮像システムは撮像管を用いているため、周辺の磁気環境の変化によってレジストレーションずれ（後述）が生じてしまうという問題がある。そこで、このレジストレーションずれを自動的に補正する機構に関する基礎実験や、磁気シールドによるレジストレーションずれ抑制効果の検証を行った。

また、監視分野では、注視すべき対象や周辺状況の変化にあわせて感度等を逐次調整する必要があるため、カメラ設定の自由度が高く、操作性に優れている必要がある。そこで、超高感度撮像システムのコントロールパネルについて改善を行い、多機能化及び操作性の向上を図った。

(1) 地磁気によるレジストレーションずれの抑制

超高感度撮像システムである、「SK-H5000」{(株)日立国際電気}には、「AP イメージャ」{(株)浜松ホトニクス}が R、G、B 用に 3 本使用されている。「AP イメージャ」とは、膜厚 15 μm で増倍率 200 の HARP 光電変換膜をターゲットとして、2/3 型 MM (磁界集束・磁界偏向) 方式撮像管に組み込んだ撮像デバイスである。

図 25 に撮像管断面の概略図を示す。撮像管は、管周辺に配置した偏向ヨークを用いて、磁界によって読み出し電子ビームを曲げ、ターゲットである光電変換膜をスキャンする。

撮像管カメラの位置や方向を変更した場合、地磁気の方角と撮像管の方向の相対関係が変化するため、偏向ヨークやフォーカスコイルが作り出す磁界が影響を受け、アドレスエラーが生じる。R、G、B 各チャンネルの撮像管はカメラ内で異なった方向に取り付けられていることから、地磁気が電子ビームの偏向やフォーカスに及ぼす影響もそれぞれ異なり、被写体のエッジ部に沿って色つきの輪郭が生じる (図 26)。この現象はレジストレーションずれと呼ばれ、撮像管カメラの位置や方向を大きく変える場合には、その都度、レジストレーション調整作業が必要となる。3-1 節で検討したような、監視目的での実用化を考慮した場合、被写体の動きによってカメラの方向を大きく変化させる場面も想定できるため、地磁気によるレジストレーションずれの防止は必須課題である。

今回、地磁気によるレジストレーションずれを抑制する手法として、方位センサーによってカメラの方向を感知して逐次レジストレーション補正を行う手法と、カメラ全体を磁気シールドボックスで覆うことによって外部磁界によるカメラ内部の磁気変動を抑制する手法の 2 つについて有効性の検証を行った。

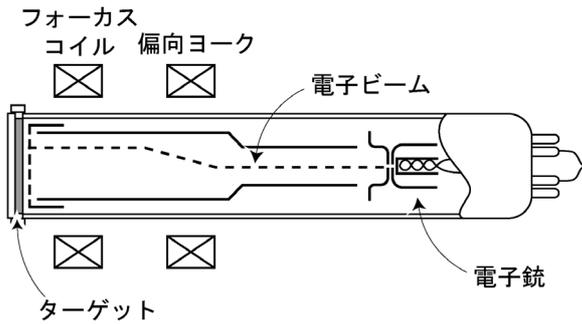


図 25 撮像管断面の概略図



図 26 レジストレーションずれの例

方位センサーによるレジストレーション補正システムの検討

レジストレーションずれは地磁気方位と撮像管の方向の相対関係に依存するため、ある方位にカメラを向けてひとたび補正をすれば、地磁気方位が大きく変わらない範囲内では異なる場所でも方位ごとの補正値は有効であると予想される。そこで、方位センサーによりカメラの向きを検知し、自動的にレジストレーションずれを補正するシステムを提案した。提案したシステムの構成例を図 27 に示す。

近年、地磁気センサー、加速度センサー、ジャイロセンサーなどを組み合わせた高精度で小型の方位センサーが普及している。図 27 のシステムでは、そういったセンサーで検知したカメラの向きに応じて、あらかじめ測定・記録しておいた方位毎の補正データを読み出し、レジストレーション補正を行う。補正項目は、水平・垂直方向のセンタリング（平行移動）とローテーション（左回転）とする。この機構によって、カメラの方位に対応して、R と B チャンネルのセンタリングとローテーションが補正データと同じ量だけ調整される。

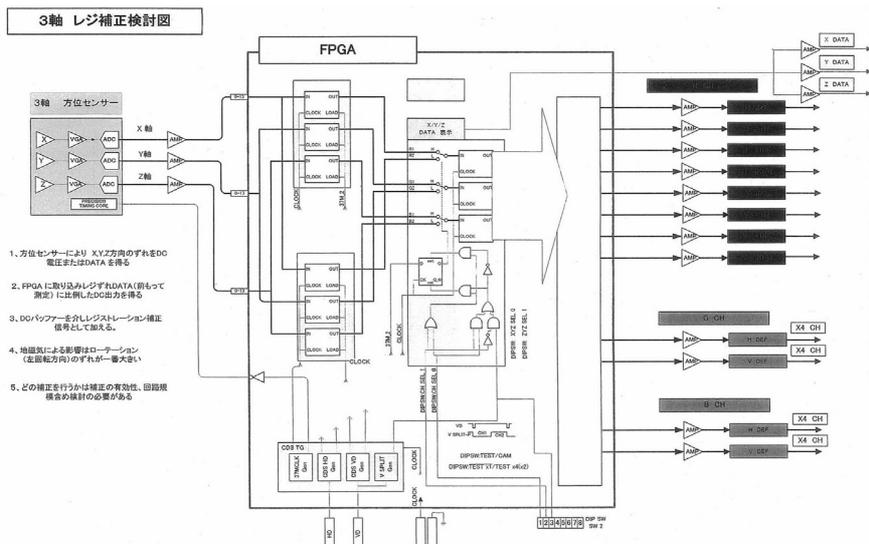


図 27 方位センサーを用いたレジストレーション補正システム構成案

この補正システムと同じ手順でレジストレーション補正を行い、システムの有効性に関する検証実験を行った。実験手順を以下に示す。

カメラ設置位置 A

- ①カメラを(方位:北、傾き:水平)にして、画面全体のレジストレーションをあわせる。
- ②カメラの方位を45度刻みで回転し、(傾き:+45度、水平、-45度)のいずれかで固定する。
- ③方位、傾きの変化によりずれたレジストレーションを補正する。
この際、補正項目は、(水平・垂直、回転)のみとする。
- ④各方位、傾きで③を行い、レジストレーション補正值(-128~128)をそれぞれ記録する。
(例:H CENT 84 → 90 とした場合、「H CENT +6」と記録する。)

カメラ設置位置 B

- ⑤カメラを(方位:北、傾き:水平)にして、画面全体のレジストレーションをあわせる。
- ⑥カメラの方位を45度刻みで回転し、(傾き:+45度、水平、-45度)のいずれかで固定する。
- ⑦方位、傾きごとに、上記④で記録したレジストレーション補正值をカメラに入力する。
- ⑧各方位、傾きで⑦を行い、画面からレジストレーションずれの方向・量を計測する。

測定は、カメラ内での位置関係から地磁気による影響が大きいと思われる赤チャンネルで行った。上記の、において、各方位、傾き毎に、プロジェクター付レンズを用いてレジストレーション調整用パターンを撮影し、R-G 差分信号を収録した。増倍率は128とし、ND フィルターを用いて、ピークの信号レベルが50%程度となるように入射光量を調整した。収録したR-G 色差信号の画面上5箇所(中央、画面4隅)で、水平、垂直方向のレジずれ量を測定した。

結果を次ページ以降の図28~図31に示す。矩形の枠は、モニターの画面を表し、矢印はその場所でのレジずれの方向、数字はレジずれ量を示す。ずれ量は、2/3型撮像面換算値であり、1画素は $5 \times 5 \mu\text{m}$ に相当する。図32は、画面内の各測定箇所における最大のレジずれ量と全方位での平均値を示したものである。補正を行った場合の方が、レジずれ量の最大値、平均値ともに小さくなっていることがわかる。

以上より、カメラの方位・傾きごとに測定したレジストレーション補正值は、異なる位置にカメラを設置した場合でもある程度有効であることが確認できた。しかし、本システムを用いても、依然として平均で2画素分程度のレジずれが生じており、これは、高度による地磁気の方位や強さの違い、周辺機器などの影響により、カメラ周囲の磁気環境が完全に同じでないためにずれが生じているものと考えられる。

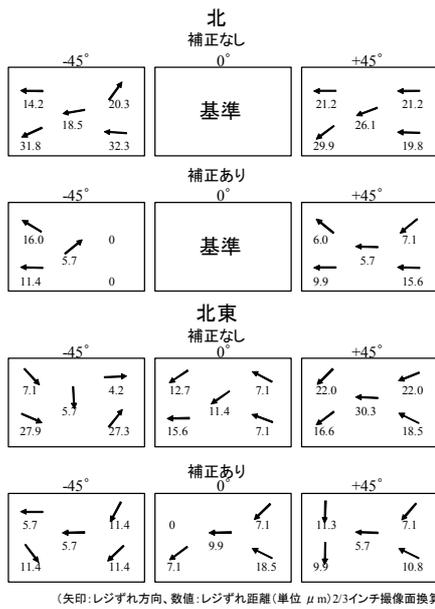


図 28 カメラの方向変化によるレジストレーション変動(北、北東)

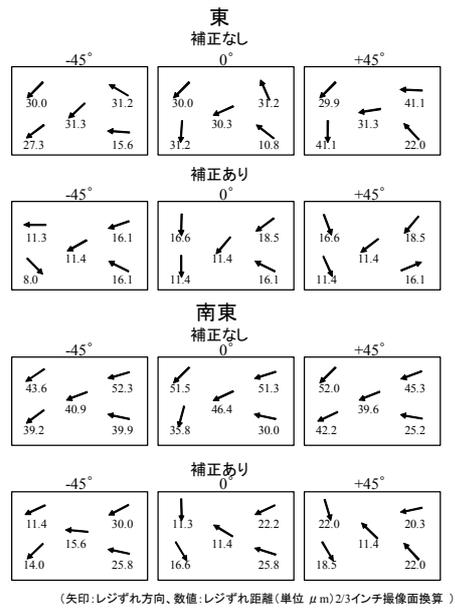


図 29 カメラの方向変化によるレジストレーション変動(東、南東)

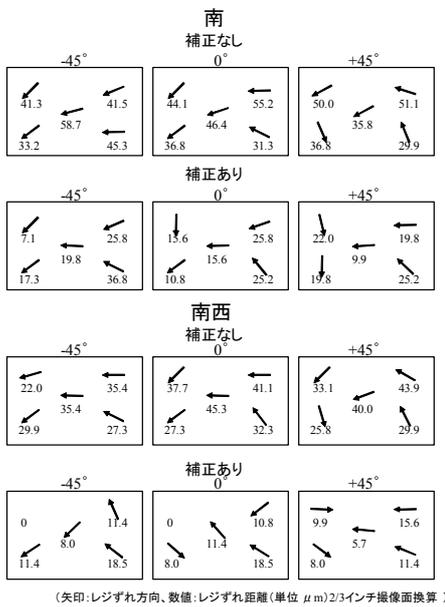


図 30 カメラの方向変化によるレジストレーション変動(南、南西)

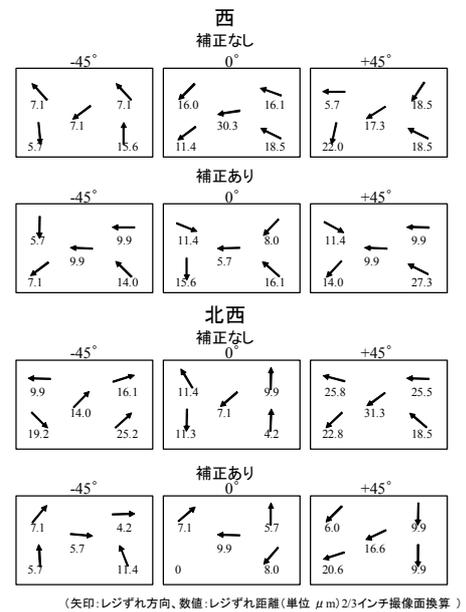


図 31 カメラの方向変化によるレジストレーション変動(西、北西)

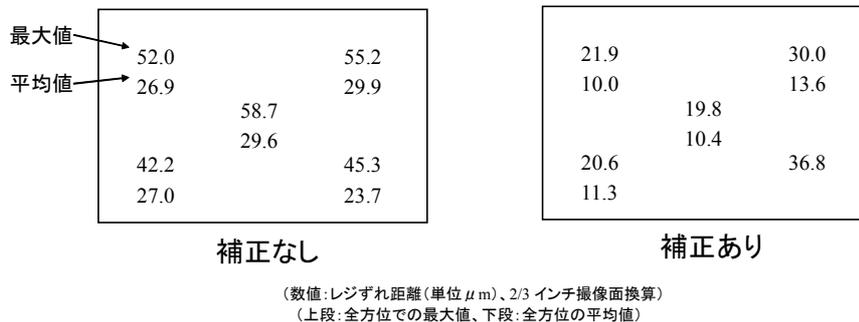


図 32 補正の有無によるレジストレーションずれの比較

磁気シールドケースの試作、効果検証

前項の方位センサーを用いたレジストレーション補正が、ある程度有効であることは検証実験により確認できたが、依然としてレジストレーションずれが残る。高画質が求められるような分野への応用を考えた場合、さらに効果的な手法が望まれており、そのためには、カメラ周辺の地磁気が撮像管の読み出し電子ビームに及ぼす影響を最小限度に抑える必要がある。そこで、精密機器の磁気シールドなどに用いられており、透磁率が非常に大きく、磁力線が貫通しづらいパーマロイ材を用いて、カメラ用磁気シールドケースを試作した。試作したシールドケースの外観を図 33 に示す。シールドケースの装着により、カメラ全体が厚さ 0.5mm のパーマロイ材で覆われることになるため、カメラ内部への磁力線の進入が防止され、読み出し電子ビームへの地磁気の影響低減が期待できる。

そこで、試作したシールドケースについて、地磁気によるレジストレーションずれ抑制効果の検証実験を行った。前項と同様、測定は R チャンネルで行うこととし、プロジェクターレンズを用いて、北を基準としてカメラの向きを 45 度刻みで回転させて R-G 差分信号を収録した。収録画像から、画面内の 5 箇所のレジストレーションずれの方向と量を測定し、シールドケースなしの場合とありの場合を比較することで、シールドケースの効果を評価した。地磁気や周辺磁気環境は、時間、場所によっても変化するため、上記 2 とおりの測定は同じ位置で、ほぼ同じ時間に行った。

結果を図 34 ~ 37 に示す。シールドケースによって、全ての方位の地磁気によるレジストレーションの変動が大幅に抑制されていることがわかる。図 38 に、画面内の各測定箇所における最大のレジずれ量と全方位での平均値を示す。シールドケースがない場合、平均で 3~7 画素程度、最大で 16 画素程度のレジストレーションずれが発生するのに対し、シールドケースがある場合には平均で 0.5 画素程度、最大でも 1.5 画素程度しかレジストレーションずれが発生していない。本実験結果から、パーマロイ材を用いた磁気シールドケースにより、超高感度撮像システムの欠点であったレジストレーションずれを大幅に抑制できることがわかった。



図 33 磁気シールドケース外観（カメラ装着時）

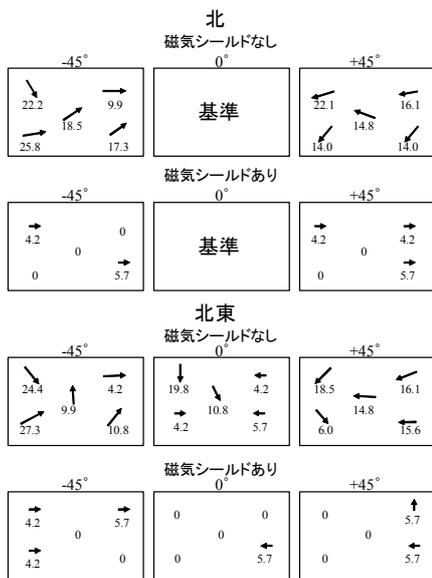


図 34 カメラの方向変化によるレジストレーション変動（北、北東）

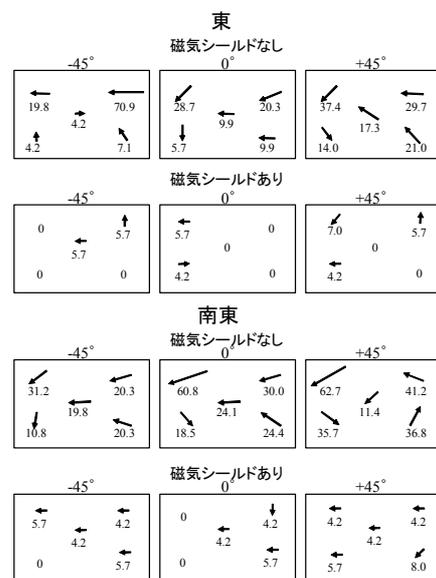


図 35 カメラの方向変化によるレジストレーション変動（東、南東）

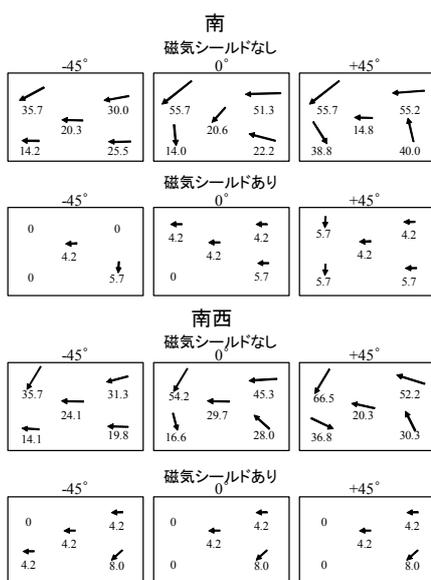
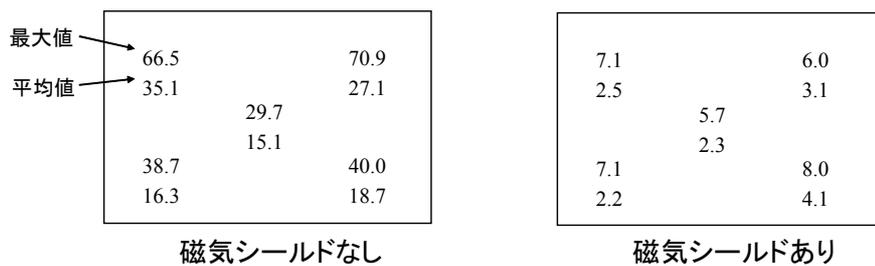


図 36 カメラの方向変化によるレジストレーション変動（南、南西）



図 37 カメラの方向変化によるレジストレーション変動（西、北西）



(数値:レジずれ距離(単位 μm)、2/3インチ撮像面換算)
(上段:全方位での最大値、下段:全方位の平均値)

図 38 地磁気によるレジストレーションずれの画面内の同位置での最大値と平均値

(2) HARP カメラシステムの多機能化及び操作性改善の概要

多機能化及び操作性改善の目的

本 HARP カメラシステムの多機能化及び操作性改善は、HARP カメラの現状を踏まえ、映像設定の自由度が高く、実際にこれを使用する場合の操作性に優れたカメラを実現し、適用性の高いカメラとして今後の新たな分野への利用促進を図ることを目的としたものである。本稿では、06 年度で開発した操作用パネルにソフトウェアを組み込み実際に超高感度高画質 HARP カメラのさらなる高性能化を目的とした、多機能化、高画質化、操作性改善の実証確認を行ったので報告する。

カメラの多機能化・高画質化

カメラの信号処理部にワンチップ超 LSI

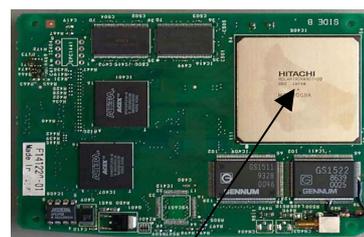
(180 万ゲート DSP)を採用した。

この DSP 内のデジタル信号処理機能を追加



使用した HARP カメラ SK-H5000

1. 高密度実装
2. 専用 DSP
3. デジタル化
4. 高速画像処理



DSP

HARP カメラシステムの操作性を改善したコントロールパネル

1) HARP カメラのコントロールパネルの特徴

HARP カメラの各種機能を簡便な操作で容易に設定できる、カメラのコントロールパネル

液晶表示パネルによる表示

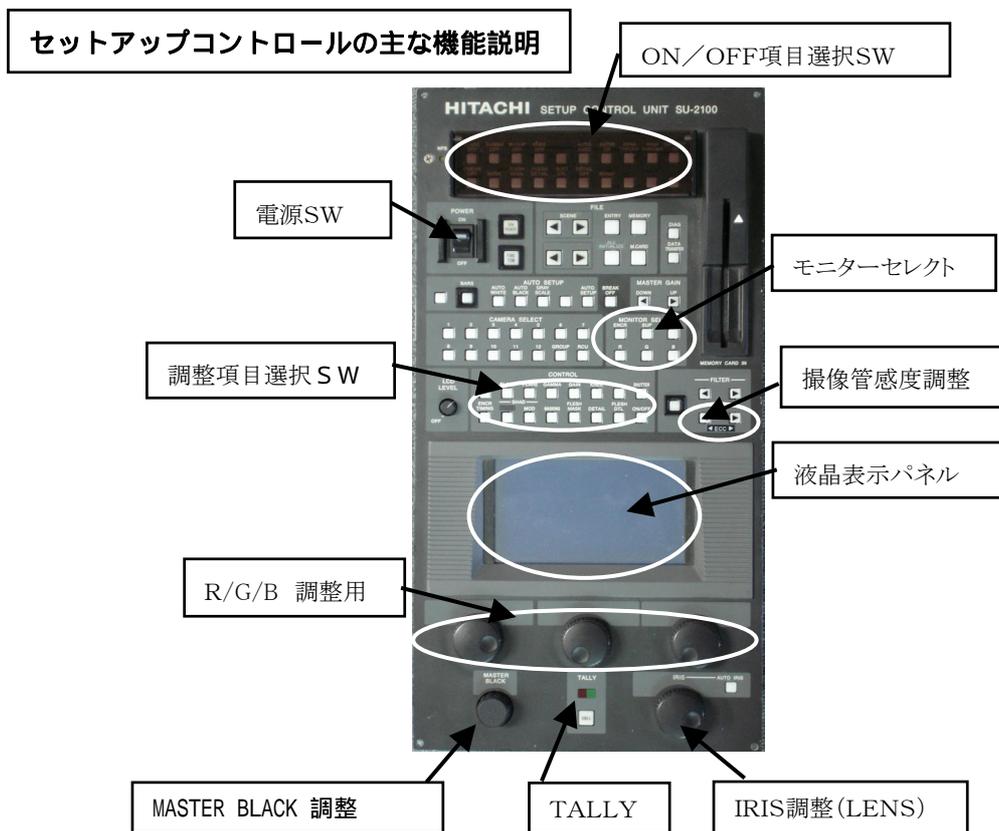
大型液晶表示パネルによりカメラ状態表示、調整項目及び調整値表示等可能。

タッチ SW採用

通常の押しボタン SWの他に液晶表示パネル上にタッチ SWを持つために、パネル表示を見ながらタッチ SWにより選択できるので操作が容易。

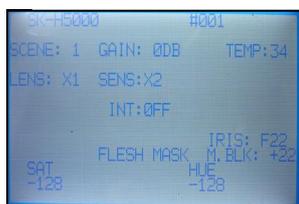
カメラが動作中でも主要コントロールが調整可能

放送用スタジオカメラのコントロールパネルに準じた機能。

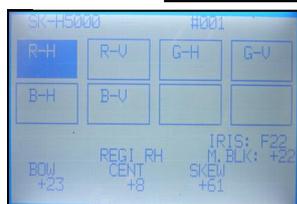


2) 調整用表示画面例

操作項目表示例



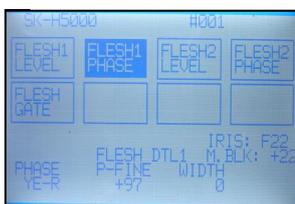
運用時



レジストレーション調整



DTL調整時



フレッシュトーンDTL調整



6色独立可変マスクング調整



リニアーマスクング調整



シェーディング調整時



フレームシェーディング調整

3) カメラ画面の例

下記表内の太字の機能の実証を行ったのでカメラ画面を例に報告する。

ロータリーエンコーダによるアナログ調整項目

No	調整項目			備考
1	BLACK	PUL CAL	R, G, B	
		BLACK	R, G, B	
2	FLARE		R, G, B	
3	GAMMA	GAMMA	R, TOTAL, B	
		SPECIAL GAMMA		
4	GAIN		R, B	
5	KNEE	KNEE	R, TOTAL, B	
		SLOPE	R, TOTAL, B	
		W. CLIP	TOTAL	
7	SHAD	HS, HP, VS, VP	R, G, B	
		SOFT DTL	WHT, BLK	
No	調整項目			備考
8	MASKING	R	SAT, HUE	
		YE	SAT, HUE	
		G	SAT, HUE	
		CY	SAT, HUE	
		B	SAT, HUE	
		MG	SAT, HUE	
		B	SAT, HUE	
		LIN1	R-G, G-B, B-R	
9	DETAIL	LEVEL	LEVEL, HV BAL	
		L-DEP		
		CRISP		
		BOOST FREQ SOFT DTL	WHT, BLK	

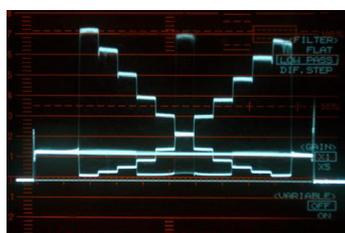
ON/OFF制御

No	制御項目	備考
1	FLARE OFF	
2	GAMMA OFF	
3	W. CLIP OFF	
4	KNEE OFF	
5	AUTO KNEE	
6	CONTRAST ON	
7	APERTURE OFF	
8	MASKING ON	
9	DETAIL OFF	
10	MONO	
11	BARS	
12	MASTER GAIN	- 3~30dB (-3 . 0 . 3 . 6 . 9 . 12 . 15 . 18 . 21 . 24 . 27 . 30)
13	FILTER SELECT (表示のみ)	: ND 100%, 12.5%, 6.3% 1.6%, : CC CAP 3200K, 4700K, 5600K
14	間欠操作切替	OFF . 1 . 2 . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . (1/30) (1/15) (1/8) (1/4)(1/2) (1s) (2s) (4s) 約秒
15	撮像管感度切換え	4倍 ~ 200倍 (2,4,8,16,32,64,128,200) (対サチコン比)
16		
17	MONITOR SELECT	(R,G,B, , SUP)
18	AUTO IRIS	
19	CALL	
20		

(a) ガンマ補正

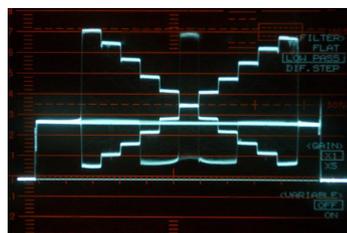
テレビモニターの入力信号のレベルと発光の強さとは直線ではなく、入力信号レベルが黒から次第に大きくなって発光はなかなか明るくならず、最後に急速に明るくなる。これは CRT 自体の発光特性(非直線性)によるものであり視覚的に不自然に感じる。この非直線性を補正するためテレビカメラ内で CRT の特性と逆の補正を行う。これをガンマ補正と言う。標準的間ガンマ補正 ($\gamma = 1/2.2 = 0.45$) の他、特に低照度(低いレベル)のエリアを立ち上げ再現性向上させる機能をスペシャルガンマ(立ち上がりガンマ)と呼んでいる。

ガンマ補正の値を変えた波形と実写図



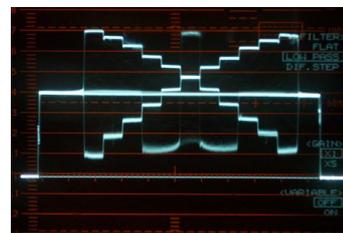
off

グレースケールチャートの黒がつまり識別できない



on

グレースケールチャートの全階調が識別できる



MAX

グレースケールチャートの黒が立ち上がり白が圧縮されている



(b) GAIN を調整



Gain R (赤) を強調
全体的に赤く表示



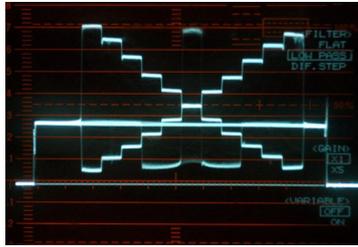
Gain G(緑) を強調
全体的に緑に表示



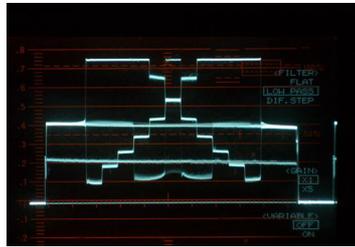
Gain B(青) を強調
全体的に青く表示

(c) オートニー/ニアパーチャー機能

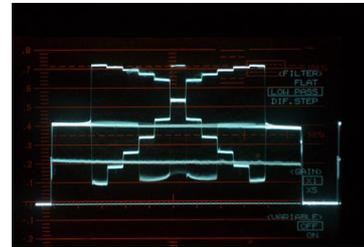
オートニー/ニアパーチャー回路を内蔵しているため、ハイライト部分でも白つぶれのない、階調感のある画像が得られ、広いダイナミックレンジを得ることができる。



チャートの11段階が黒から白まですべて識別できる



チャートの上白5段が潰れ階調の識別ができない



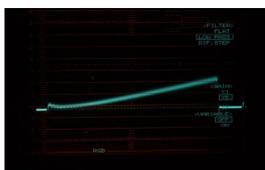
白が圧縮されているが5段が潰れ階調が識別できる

(d) SHADING

テレビジョンカメラの光学系や撮像部で生じる明暗のむらをシェーディングと言う。シェーディングが発生すると映像の劣化となる。シェーディングを補正するため、テレビジョンカメラで発生したシェーディングの湾曲あるいは傾斜と、全く反対の極性を持つ信号。これを増幅器に加え、映像信号を平にする。

機能動作概要

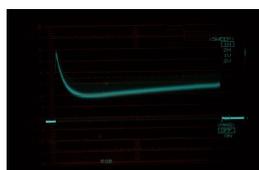
機能	可変範囲		標準値 (表示値)	動作概要
	MIN	MAX		
AXIS SHA H $\begin{matrix} \diagdown & \diagup \\ \diagup & \diagdown \end{matrix}$ SAW V $\begin{matrix} \diagdown & \diagup \\ \diagup & \diagdown \end{matrix}$ PARA	-5%	+5%		ダークシェーディングの補正
MOD SHAD H $\begin{matrix} \diagdown & \diagup \\ \diagup & \diagdown \end{matrix}$ SAW V $\begin{matrix} \diagdown & \diagup \\ \diagup & \diagdown \end{matrix}$ PARA	-5%	+5%	-	ホワイトシェーディングの補正 (レンズによるシェーディング補正)



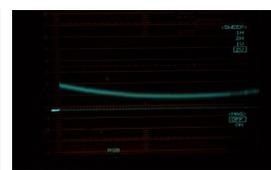
H,V SAW



H,V



コーナー



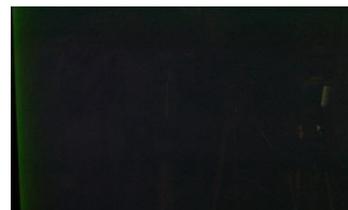
混合したもの



正しく調整
一様性がよく白黒に見える



調整不良
上緑、右下赤い



調整不良
左側のみ緑

(e) 多種 DTL (輪郭補償) 調整機能

輪郭補償とは画像の輪郭を強調してシャープな画像を作り解像感を向上させるものである。具体的には画像の輪郭部分を取り出し元の画像に追加することにより水平、垂直の周波数特性を改善し視覚特性を向上させている。これらの機能はアナログでは回路規模が大きくなっていたがデジタル化により大きな特性の改善が行われ多種多様な機能が追加された。

通常の DTL に加えネガ / ポジバランス機能、暗部 (EDTV 対応) / 明部の DTL 量独立制御、DTL ニー、H / V DTL のアウトオブ G、G + R、R + G + B のいずれかの選択の他、よりキメ細やかな DTL 調整が正確に行える。



DTLの量を大きく可変した例
バラの花びらのエッジが強調されている



(f) フレッシュトーン / 360° DTL

肌色 (顔色) の DTL 量を下げ画質を向上させる。すなわち、しみ、そばかすなどをぼかし化粧などの粗なども隠すことができる。

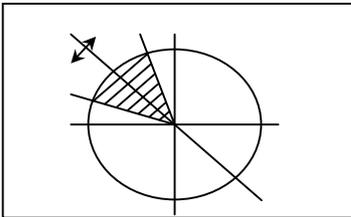
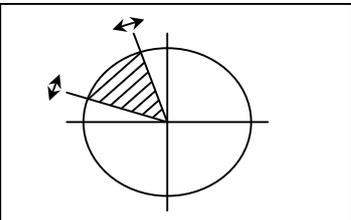
さらに 360° DTL は肌色に限らず、任意に選択した色に対し DTL 量を調整できる。

(加減)



肌色 (顔) の DTL のみを下げ
肌をスムーズにした例

画像の中から加工するエリアを抽出する方法
フレッシュトーンの操作項目

機能	可変範囲		標準値 (表示値)	動作概要
	MIN	MAX		
FLESH DTL PHASE	YL (イロ-) 軸	R (赤) 軸	ほぼ I 軸 (70)	肌色として色相(位相)を選択する 
FLESH DTL WIDTH	0	240°	20°	肌色の色相範囲を選択する 
FLESH DTL SLOP	15°	2.5°	2.5° (100)	色相によるフレッシュトーン DTLの低減率を調整



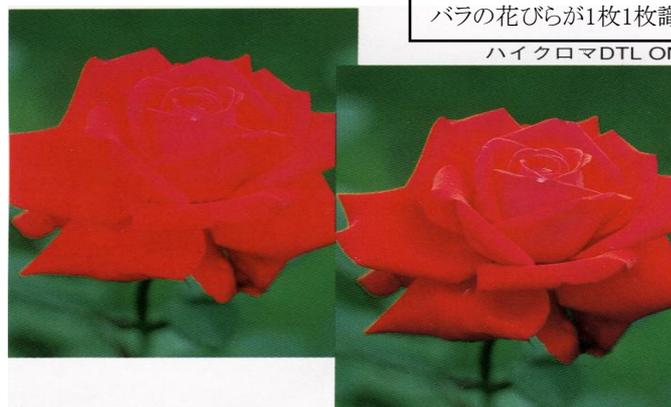
通常画面



顔、腕など青で囲まれたエリアの
DTLを調整可能

(g) ハイクロマ DTL

色飽和度の高い被写体の解像度劣化を改善する。このハイクロマ DTL は R、G、B
の各信号に補正できる。



バラの花びらが1枚1枚識別できる

ハイクロマDTL ON

(h) マスキング

テレビカメラには撮像デバイスや光学系などが組み込まれている。テレビカメラで撮影し CRT に表現する場合、これらの分光特性や透過率などの要因により理想的な色再現性が再現できない。マスキング補正とは理想的な撮像特性に近づくための電氣的補正でありリニアマトリックス方式が一般的であった。

今回従来のリニアマトリックス方式に加え、6色独立可変方式マスキングモードを装備した。リニアマトリックスと6色独立可変マスキングのミックスモードもあり、再現が困難であった混色系の色を忠実に再現する。

6色独立可変マスキングは特殊効果的運用も可能である。さらに肌色の色相、飽和度だけをキメ細かく調整できる肌色マスキングも装備した。

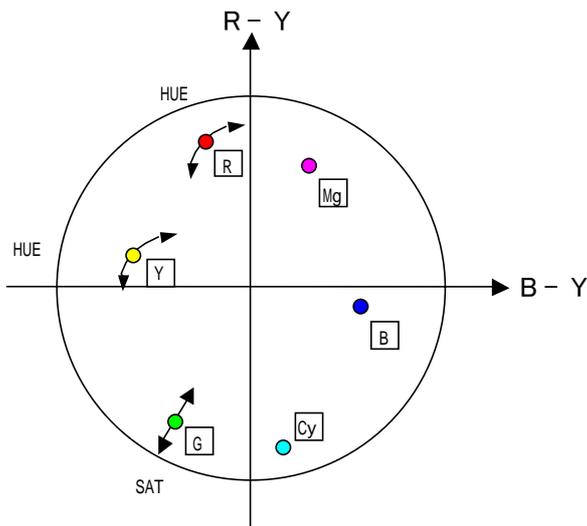
6色独立可変マスキング (6 Vector Masking)

6色すなわち、R、G、B、Yellow、Magenta、Cyanの各色のHUE(色相)とSaturation(色飽和度)を独立(他の色は変えず)に可変できる。

ベクトルスコープの図面で示すと、例えばR HUEを+方向に動かすとマゼンタに近い色(赤紫)になり、-方向に動かすとイエローに近い色(サーモピンク)になる。G HUEの場合は、+方向に動かすと赤に近い色になり、-方向に動かすと緑に近い色(黄緑)になる。

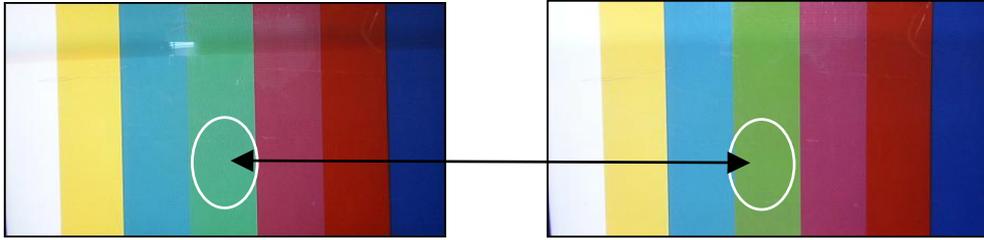
Saturationについて説明すると、例えばG SATを+方向に動かすと緑色がより鮮やかになり、-方向に動かすと色が薄くなる。

6色独立マトリクス



赤をマゼンタに変えた例

Greenの位相を可変 Green以外の位相変化はない



赤いバラの花びらの色を大きく可変



黄色いバラの花びらの色を小さく可変



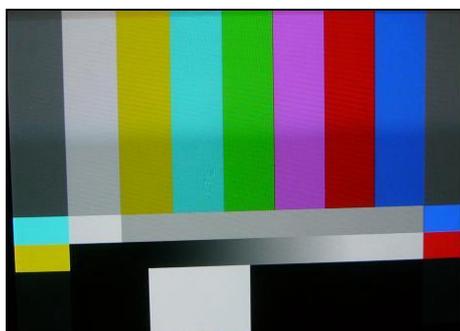
(i) クロマサチュレーション

カラーバーのクロマバランスを崩すことなく、撮像時のクロマ量を可変できるクロマサチュレーション、色再現性を忠実に表現するニーサチュレーション機能を有している。



(j) テスト信号(カラーバー)

カラーバー信号は映像機器全般の信号調整用または確認用のテストチャートの一つで、主に伝送系の波形レベルの確認や位相調整用などに使用する。



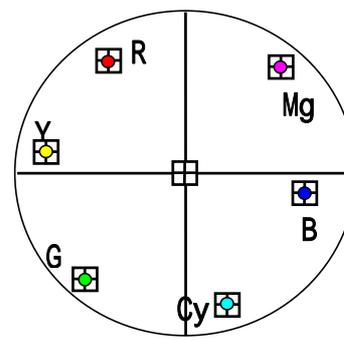
カラーバ信号をTVで表示



カラーバ信号をWFMで表示



カラーバ信号をベクトルスコープで表示



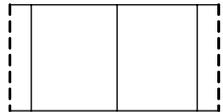
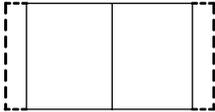
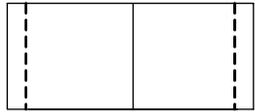
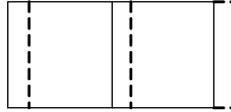
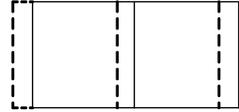
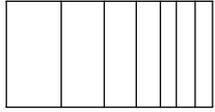
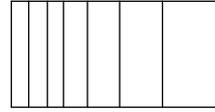
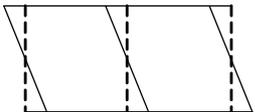
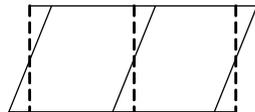
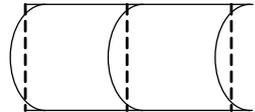
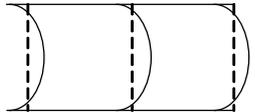
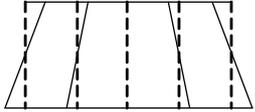
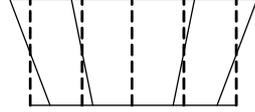
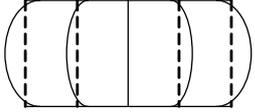
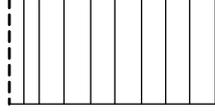
カラーバ信号を色で表示

(k) レジストレーション

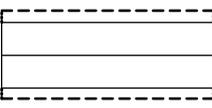
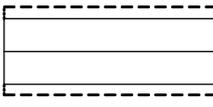
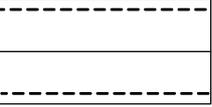
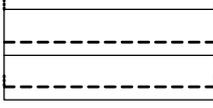
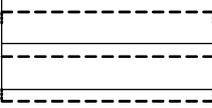
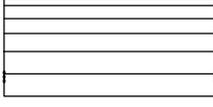
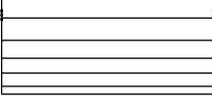
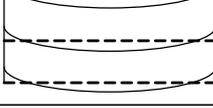
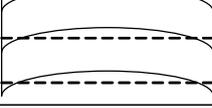
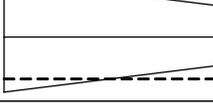
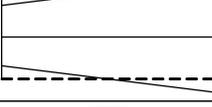
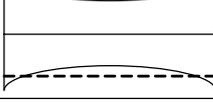
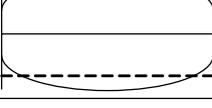
本 HARP カメラシステムにおいてレジストレーション調整は操作性改善の重要項目であった。その操作性はコントロールパネルの完成と共に、レジストレーション調整、映像設定の自由度が大きく向上した。実際にこれを使用し多くのレジストレーション調整のリモートコントロールが可能になり、運用性の高いカメラとなった。

以下に調整可能となったレジストレーション調整項目を示す。

水平偏向回路のレジストレーション調整の補正効果を示す。

調整器NO.	回転方向			
	名称			
RV1	M H SIZE			
LV1 LV2 LV3	R G B	H SIZE		
* RV46 *	R G B	H CENT		
RV2 RV12 RV13 RV14	M R G B	H LINE		
RV6 RV8 RV10	R G B	H SKEW		
RV7 RV9 RV11	R G B	H BOW		
RV38 RV37 RV36	R G B	H TRAP		
RV33 RV34 RV35	R G B	H PIN		
RV3 RV4 RV5	R G B	HL LIN		

垂直偏向回路のレジストレーション調整の補正効果を示す。

調整器NO.	回轉方向 名称		
RV32	M V SIZE		
RV24 RV25	R } B } V SIZE		
* RV47 *	R } G } B } V CENT		
RV17 RV20 RV23	R } G } B } V LIN		
RV16 RV19 RV22	R } G } B } V SKEW		
RV15 RV18 RV21	R } G } B } V BOW		
RV26 RV28 RV30	R } G } B } V TRAP		
RV27 RV29 RV31	R } G } B } V PIN		

3-4 . HARP 撮像管の評価と

次世代 HARP 撮像システムの適用領域の調査

(1) 次世代撮像システム(冷陰極 HARP 撮像板)開発の現状

現在、撮像デバイスとしてほとんどのテレビカメラに用いられている CCD は小型軽量で信頼性に優れ、ハイビジョンにも対応できる高い画質を実現している。また、2/3 インチサイズ(撮像領域の対角長 11mm)の CCD を適用したハイビジョンカメラでは、被写体照度 2000 ルクス、光学レンズの絞り値 F10 で、S/N 約 54dB の鮮明な画像が得ることができるなど、高い感度を実現している。しかし、このように高性能な CCD であっても、照明が制約される夜間緊急報道などの厳しい撮影条件下では、感度が十分であるとは言えず、さらなる感度の向上が求められている。

そこで、このような問題を抜本的に解決するため、電圧を印加するだけで電子を放射する電界放射陰極(以後、冷陰極と呼ぶ)のアレイに、超高感度な HARP 膜を対向させた新しいタイプの小型撮像デバイス「冷陰極 HARP 撮像板」の開発が進められている^{[1],[2]}。HARP 膜を適用した撮像デバイスとして、すでに、CCD の感度をはるかに凌駕するハイビジョン HARP 撮像管が実用化され、放送をはじめとするさまざまな分野で利用されているが、冷陰極 HARP 撮像板は、このような撮像管に比べて格段に小さく、また、撮像管用に開発された超高感度な HARP 膜をそのまま適用できることから、小型超高感度カメラ用撮像デバイスとして大きな期待が寄せられている。

冷陰極 HARP 撮像板の基本構造と動作原理

冷陰極 HARP 撮像板の基本構造を図 39 に示す。撮像板は、冷陰極を平面上に多数並べたマトリックスアレイと、冷陰極アレイから放射された電子ビームを加速して引き出すメッシュ電極及びアモルファスセレンを主成分とする HARP 光電変換膜から構成される。冷陰極アレイとして、スピント型^{[3],[4]}を例にとると、互いに直交する陰極配線とゲート電極配線との交差部分が画素に相当し、通常、撮像動作に必要な放射電子量を確保するため、各画素には複数のスピント型冷陰極が配置される。スピント型冷陰極は、円すい状の陰極とそれを取り囲むゲート電極からなり、ゲート電極に陰極より高い電圧が印加されると、針のようにとがった陰極の先端に電界が集中し、そこから電子が放射される。

撮像板の動作原理を図 40 に示す。HARP 膜に光が入射すると透明電極近傍の膜内部に入射光量に応じた電子・正孔対が生成される。この内、正孔は透明電極を介して HARP 膜に印加された強い電界(電界強度 10^8V/m 以上)によって加速され、膜を構成する原子とつぎつぎに衝突することで、新たな電子・正孔対を生み出す。これにより、HARP 膜の電子ビーム走査側には入射光像に対応し、かつ、増倍された電荷(正孔)の 2 次元パターンが形成される。一方、スピント型冷陰極アレイの陰極配線及びゲート電極配線には外部か

らテレビ規格に準じたパルス電圧が印加され、各画素から電子が順次放射される。この電子は冷陰極アレイの駆動電圧に比べて格段に高い電圧が印加されたメッシュ電極によって引き出され、HARP 膜に到達する。最終的に、冷陰極アレイから放射された電子と HARP 膜に蓄積された正孔とが結合した際に、外部回路に流れる電流を出力として取り出すことで、ノイズの少ない映像増幅信号が得られる。

撮像板の開発状況

近年、標準テレビの解像度を持つ 1 インチサイズ（撮像領域の対角長 16mm）の撮像板が開発された^図。

以下に、その構造と仕様ならびに主要撮像特性について述べる。

1) 構造と仕様

標準テレビ用撮像板は、画素数 640×480、画素サイズ 20 μ m×20 μ m のアクティブ駆動回路内蔵スピント型冷陰極アレイに、メッシュ電極と、厚さ 15 μ m の HARP 膜とを組み合わせたものである。

従来の撮像板では、外部からスピント型冷陰極アレイの陰極配線やゲート電極配線に直接、パルス電圧を印加することでアレイを駆動していたため、アレイの高速駆動が難しい、アレイを駆動するには膨大な数の配線を外部に取り出さなければならないという問題があり、多画素化を阻む大きな要因となっていた。この問題を解決するため、新たにアレイの高速駆動や外部接続配線数の大幅な削減が見込めるアクティブ駆動回路（各画素内にトランジスタを、画素外に画素内トランジスタの制御回路を配置したものを）を内蔵した高集積スピント型冷陰極アレイが開発され、初めて標準テレビの画素数を持つ撮像板が実現した。

標準テレビ用撮像板の外観を図 41 に示す。この撮像板の厚さは約 10mm で、HARP 撮像管（長さ約 100mm）に比べて、格段に小型である。また、外部接続配線数は約 10 本で、これらを介して外部からクロック信号や同期信号などを加えるだけで冷陰極アレイを駆動することができる。

2) 主要撮像特性

上記撮像板を NTSC 規格で動作させたときの撮像例を図 42 に示す。月明かり程度の明るさで（被写体照度 0.3 ルクス、光学レンズの絞り値 F1.2）、ノイズの少ない鮮明な映像が得られている。

以下に、主要撮像特性を示す。

感度 : 同じ厚さ（15 μ m）の HARP 膜を適用した撮像管^図と同じ高感度を得ることができる。

解像度 : 画素数に相当する良好な解像度を得ることができる。また、画面内での解像度の一様性も良好である。

ハイライト処理 : 帰線期間に冷陰極アレイから放射した電子で HARP 膜の過剰な電荷を除去する駆動法が適用されているため、非常に強い光が

入射したときでも良好な画質を維持できる。
消費電力 : HARP 撮像管に比べて、格段に少ない。

なお、上述した撮像例ならびに諸特性は、撮像板の外部に 2 種類の永久磁石からなる磁界集束系¹⁾を配置し、撮像板内部に一様な磁界を印加したときのものである。

まとめ

小型超高感度カメラを目指した取り組みとして、冷陰極アレイと超高感度な HARP 膜とを対向させた新しいタイプの小型撮像デバイス「冷陰極 HARP 撮像板」の開発概要について述べた。

これまで撮像板の開発は少数画素の撮像板試作による動作検証が主であったが、画素数 640 × 480 の標準テレビ用 1 インチ撮像板の開発を契機に実用化に向かって第一歩を踏み出した。現状では、デバイスサイズが大きく、また、冷陰極から放射された電子群の集束に永久磁石を必要とするなど、実用化に至るまでに解決しなければならない幾つかの問題が残されているが、撮像板は HARP 撮像管に比べて、小型で消費電力が少なく、強い光が入射しても画質が劣化しないなどの優位性を持つほか、高速駆動も可能となることから、将来、HARP 撮像管の後継デバイスとして、放送をはじめとするさまざまな分野での活躍が期待できる。

なお、本章では割愛したが、スピント型冷陰極アレイ以外に、HEED (High-efficiency Electron Emission Device) 冷陰極アレイを適用した撮像板の開発も進められており⁶⁾、スピント型と同様、標準テレビ用撮像板の開発に成功している。

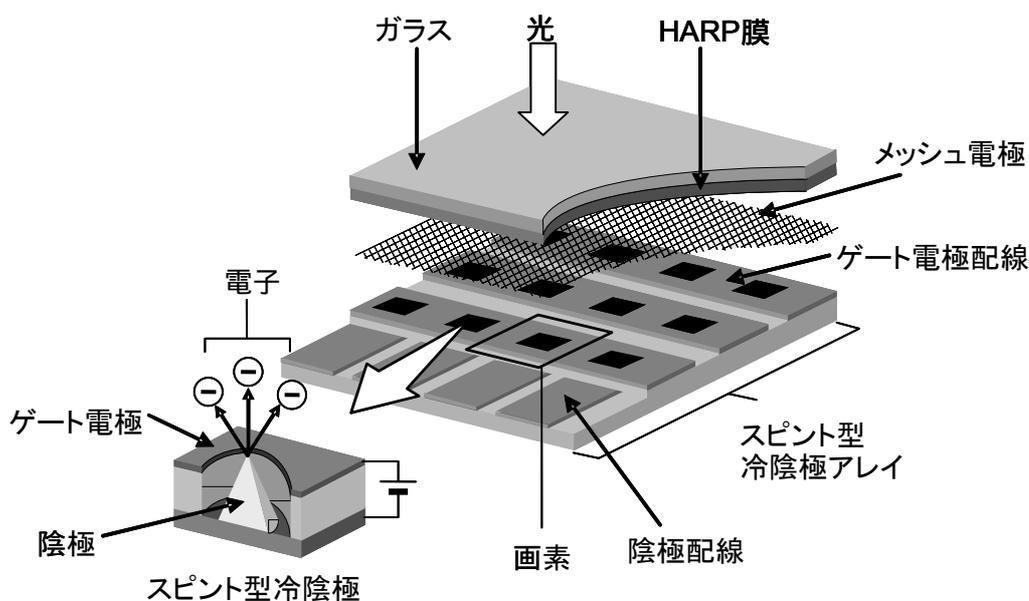


図 39 冷陰極 HARP 撮像板の構造

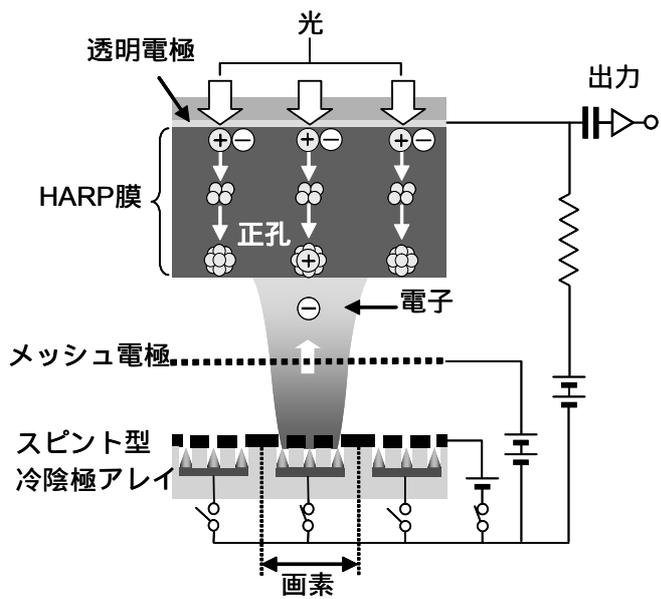


図 40 冷陰極 HARP 撮像板の動作原理

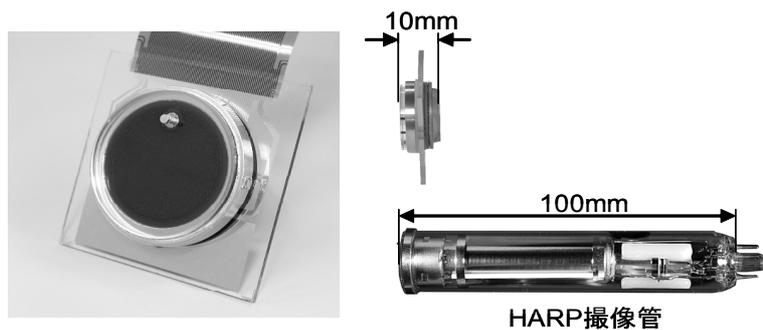


図 41 標準テレビ用 HARP 撮像板の外観



図 42 標準テレビ用撮像板での撮像例
(被写体照度 0.3 ルクス、光学レンズの絞り値 F1.2)

参考文献

- [1] N. Egami, M. Nanba, Y. Takiguchi, K. Miyakawa, T. Watabe, S. Okazaki, K. Osada, Y. Obara, M. Tanaka, S. Itoh : “50x50 μm pixel magnetic focus field emitter array image sensor with high-gain avalanche rushing amorphous photoconductor target”, JVST B, 23, 5, pp.2056-2062 (2005).
- [2] M. Nanba, Y. Hirano, Y. Honda, K. Miyakawa, Y. Ookawa, T. Watabe, S. Okazaki, N. Egami, K. Miya, K. Nakamura, M. Taniguchi, S. Itoh:”640x480 Pixel HARP Image Sensor with Active-matrix Spindt-type FEA”, IDW06, FED1-4, pp.1817-1820 (2006).
- [3] C.A. Spindt, I. Brodie, L. Humphrey, E. R. Westerberg: "Physical Properties of Thin-film Field Emission Cathodes with Molybdenum Cones," J. Appl. Phys., 47, 12, pp. 5248-5263 (1976).
- [4] S. Itoh, N. Mutoh, M. Tanaka, T. Tonegawa, “Development of Field Emission Display,” Tech. Digest 16th IVMC, I3-1, pp.19-20 (2003).
- [5] 大川, 宮川, 鈴木, 高畠, 江上, 谷岡, 小林, 小楠, 平井 : “実用型新 Super-HARP 膜”, 2001 年映情学年次大, 23-7, p.345-346 (2001).
- [6] N. Negishi, Y. Matsuda, R. Tanaka, T. Nakada, K. Sakemura, Y. Okuda, A. Watanabe, T. Yoshikawa, K. Ogasawara, M. Nanba, S. Okazaki, K. Tanioka, N. Egami, N. Koshida: “Development of a high-resolution active-matrix electron emitter array for application to high-sensitivity image sensing”, JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B, 25, 2, pp.661-665 (2007).

(2) 次世代撮像システムの特徴と新たな適用領域

本項では、昨年度調査した超高感度撮像システムの応用領域に加えて、次世代撮像システムの特徴を生かした新たな適用領域について検証する。

次世代撮像システムの特徴

前項で述べた次世代撮像システムでは、撮像管を用いた従来の超高感度撮像システムの特徴に加え、さらに以下に述べるような性能向上が期待できる。

(1) システムの小型化

これまでの撮像管では、1本の電子ビームを偏向させて走査を行うために、電子源から光導電ターゲット部まである程度の距離が必要であった。一方、次世代撮像システムに用いる冷陰極 HARP 撮像板では、画素毎に電子源を持っており、電子ビームを偏向する必要が無いため、電子源からターゲットまでの距離を大幅に短縮することができ、デバイスの小型化が可能となる。

(2) ダイナミックレンジの拡大

撮像管では、1本の電子ビームを偏向することで走査を行うため、順次走査でしか駆動できなかった。一方で、次世代撮像システムでは、マトリクス状の冷陰極アレイを用いるため、多彩な駆動法を実現できる。特に前項で述べたような帰線期間にハイライト処理を行う駆動法は、ビーム不足による画像不良現象を抑制し、高照度側へのダイナミックレンジ拡大を可能とする。

(3) フレームレートの向上

撮像管では、走査用電子ビームの偏向速度に限界があるため、現行の 60i 駆動と比べて大幅なフレームレートの向上は困難であった。しかし、次世代撮像システムは、前項に示したとおり、冷陰極アレイにアクティブ駆動回路を内蔵しているため、高速駆動が可能となる。

次世代撮像システムによる適用領域の拡大

3-1 節で述べた実証実験の結果から現行の超高感度撮像システムでは、昨年度調査した適用領域^[1]の中でも実現困難な領域が存在することがわかった。しかし、前項で述べた次世代撮像システムの特徴を活かすことで、この課題は解消できる見込みで、適用領域の拡大が可能となる。(表 1)

(1) システムの小型化

システムの小型化によって設置箇所の自由度が向上するため、例えば監視分野ではセキュリティタウンへの適用などの用途拡大が期待できる。また、医療分野において内視鏡への応用を考えた場合、システムの小型化は必須であり、次世代撮像システムの適用は有効と考えられる。さらに、航空測量や車載用途など、限られたスペースでの使用においても、システムの小型化による操作性の向上は有効である。

(2) ダイナミックレンジの拡大

監視分野に現行の超高感度撮像システムを適用した場合、課題となるのは強い光が入射した際の、読み出しビーム不足による画像不良現象であった。しかし、次世代撮像システムでは、コンビニエンスストアの店内と夜間の屋外のような輝度差の大きい被写体を同一画面中で撮影する場合や、交通監視分野においてヘッドライトや水銀灯などの強いスポット光が画面内に入射する場合にも、独自のハイライト処理を行うことによって安定して高画質な画像が得られると期待できる。また、内視鏡手術などへの応用において体内の組織に照明光が反射して画面内に高輝度なスポット光が入射することが考えられるが、このような場合にもハイライト処理は有効であると考えられる。

(3) フレームレートの向上

先に述べた交通取り締まりを想定した実験では車両は低速度で走行していたが、速度違反取り締まりや車載用途などでは、被写体の相対速度はさらに速くなる。画面内を高速度で動く被写体の特徴を鮮明に捉えるためには、従来の 60i と比較して、さらなる高速なフレームレートが要求される。その場合、デバイスへ光が入射する時間も短くなるため、通常の撮影と比較して、より高い感度が求められる。次世代撮像システムは、HARP デバイスの超高感度とアクティブマトリクスを実装した冷陰極アレイによる高速駆動を両立できるため、このような高フレームレートが必要とされる用途などへの応用には特に適していると考えられる。また、医療分野での臨床応用や基礎的研究目的での生体観察などにおいても、通常のフレームレートでは対応が困難な高速事象が数多くあり、次世代撮像システムへの期待は大きい。また、スローモーションシーンを多用する映画制作や、地上との相対速度が大きい飛行体からの撮影などにおいても、次世代撮像システムの活躍が期待できる。

表 1 超高感度撮像システムの適用領域と要求仕様

	キーワード 安心・安全・環境 (細目)		感度 (ルクス)	最大照度 (ルクス)	解像度 (分解能) (ピクセル)	使用波長 範囲 (nm)	露光時間 (fps)	使用上の特徴	使用環境	その他
	監視分野	夜間の広域監視	空港・河川・港湾夜間監視 沿岸監視、セキュリティタ ウン	0.01	100	1920x1080	400～800	1～30	被写体は静止が中心	
交通監視		速度違反・駐車違反取締 交差点・料金所監視	0.5	2000	1920x1080	400～800	30～100	被写体が移動	画角ほぼ固定	速度重視
入店者の顔認識		コンビニ等での監視	1	500	1920x1080	400～800	30	昼間・夜間併用	画角ほぼ固定	コスト重視
医療分野	臨床での診断・ 手術	胎児手術内視鏡 眼科内視鏡	50		1920x1080	400～800	30	ファイバーか硬性内視 鏡/顕微鏡に接続	医師が画面を 見ながら施術	色再現性・画 質・感度重視
	病室の監視	新生児室での利用 (監視)	0.1	500	1920x1080	400～800	30	昼間・夜間併用	画角ほぼ固定	コスト重視
基礎的 研究	バイオ・生命科学 の構造解析・観察	地中植物調査 高速度撮影用途	0.01		1920x1080	400～800	10～30		画角ほぼ固定	感度重視
	天体観察	天体望遠鏡	0.001	10	1920x1080	400～800	1	被写体が静止		解像度・色再 現性重視
一般 産業用途	エンターテインメ ント	ドラマ・映画等の夜間シー ン撮影 スローモーション撮影	5	10	1920x1080	400～800	30			解像度・色再 現性重視
	航空測量 車載用途 高速撮影用途	飛行体、移動体搭載カメラ からの撮影 動作解析等	0.01	100	1920x1080	400～800	10～30			画質・速度重 視

適用領域の検討

1) 監視分野

現状の HARP 撮像管カメラは、監視分野、特に夜間の広域監視など高度なセキュリティを要求するような分野においては実用レベルにあると考えられる。

今後さらにシステムの小型化やフレームレートの向上などを実現することにより、飛行体からの沿岸監視、高速な移動体の監視、トンネル橋梁などの監視、セキュリティタウンへの適用などの用途拡大が期待できる。また、ハイライト処理機能の付加により、コンビニエンスストアの店内と夜間の屋外を同一画面中で撮影する場合などにも対応でき、交通監視分野においてヘッドライトなどの強いスポット光が画面内に入る場合でも暗い車内や車体、ナンバープレートが撮影できるようになる。

2) 医療分野

(1) 内視鏡への高感度カメラの応用

内視鏡は肉眼では直接見ることができない体内臓器を観察するための光学機器であり、大きく分けて光ファイバ側から構成される光学系あるいは小型 CCD を先端部に持つ光学系から構成される硬性鏡に分類される。近年その細径化・多機能化が進んでいる。従来は診断目的で使用されることが多かったが、診断し病変部位が発見された場合には治療を行うことも行われており、診断・治療一体化のための重要な要素技術となっている。

またその応用範囲の拡大、低侵襲性の向上のためには内視鏡の細径化が不可欠である。細径化に伴い画像情報として得られる光エネルギー量は減少する。また撮像系とともに照明系をも小型化しなければならないことを意味しており、細径化に伴い、十分な強度の照明系を内視鏡に搭載することは困難となる。この両面から内視鏡の細径化には、高感度カメラの実用化は不可欠である。

また、消化管用などの軟性内視鏡システムは、ファイバ스코ープに代わり画質の優れた内視鏡先端に小形撮像素子を搭載したビデオ内視鏡が主流になりつつある。このことから高感度 HARP カメラの応用を図る場合においても、CCD と同様な小形でかつ平板状の HARP 撮像素子を使った次世代撮像システムの開発は不可欠である。

一方腹腔鏡下手術などに使用される硬性内視鏡の分野においては、リレーレンズ系からなる硬性内視鏡を体内に挿入し、体外に撮像システムを置く構成がとられるがこの場合にも、細径化は操作空間の拡大、低侵襲性の向上などの観点から求められる。体外にカメラを設置する用途においてもシステムの小型化のためにはカメラの高感度化は不可欠であり、HARP カメラの応用可能性はあるものと考えられる。ただし内視鏡としての操作性を確保するためには、現在の撮像管型では応用は困難であり小型でかつ高感度な次世代撮像システムが実用化されることが求められる。

従来の内視鏡では開創下での臓器の肉眼観察を、体腔内に挿入した内視鏡で肉眼と同様な臓器観察を可能とすることを目的としたものであったが、肉眼では捉えることができない機能情報を獲得するために、近赤外分光 (Near InfraRed Spectroscopy: NIRS) や蛍光計測などの各種分光画像計測が内視鏡により試みられるようになっている²⁾。病変組織が健常組織と異なる蛍光性を有する可能性があること、あるいは病変部に選択的に集積する蛍

光染色薬剤の進歩により、従来の観察に加えて、蛍光計測など組織分光学的な手法を活用して、in vivo で病理検査を行おうとする試みが検討されており、消化管、気管支等では一部臨床応用されている^{[3],[4]}。このような蛍光計測、発光計測を内視鏡下で行おうとする場合には、蛍光情報をバンドパスフィルタ等を用いて励起光やバックグラウンドノイズと分離する必要が生じる。このため本分野への超高感度カメラの応用は有効であると考えられる。

(2) 低侵襲手術への超高感度カメラの応用

現在、多くの外科分野において低侵襲外科といわれる治療が大きく進展しつつある。従来の開腹・開胸といった大きな手術創を患者に加え、大きく術野を展開し、十分な作業空間を確保した上で手術を行う方式と異なり、小さな切開創から内視鏡を体腔内に挿入し、鉗子と呼ばれる長い手術機器を別に皮膚上に作製した挿入口から挿入し、体腔内で手術操作をする。

このような手術の代表的なものに腹腔鏡下手術がある。従来、腹部外科の分野において手術は腹壁を大きく切開して行われていた。1987年、フランスにて胆嚢結石症に対し、腹壁を大きく切開することなく胆嚢とともに結石を切除し、治療を行ったことが世界で始めて報告された。1990年代にかけて腹腔鏡下手術は欧米を中心に広まり、わが国においても腹部外科の分野において急速に普及しつつある。

腹腔鏡下手術は、腹壁上に器具挿入のための1~2cm程の小孔を数箇所開け、腹腔鏡と呼ばれる内視鏡(図43(a))、鉗子と呼ばれる径が3mm~10mm程度の手術器具(図43(b))を腹腔内に挿入し、腹腔内にて組織の剥離・切開・縫合・結紮等の大半の手術手技を行う術式である。

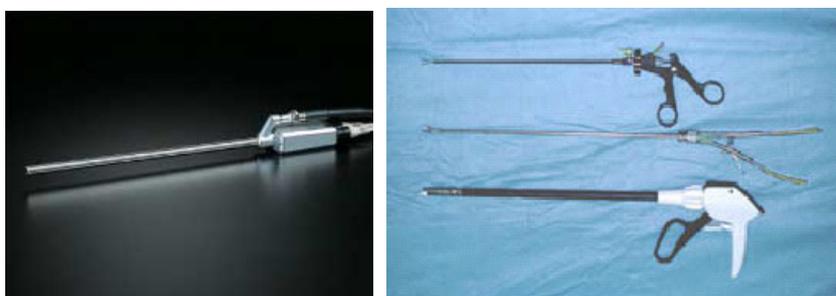


図43 (a: Left) Laparoscope (b: Right) Surgical Forceps

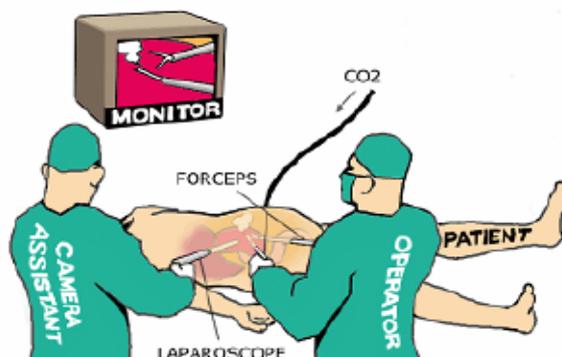


図44 an Operator and a camera assistant

従来の開腹術では必須である、皮膚や筋組織の大きな切開が不要である。また、臓器が低温かつ乾燥した手術室環境に直接曝されることがない。そのため、患者に与えるダメージ(侵襲)が小さく、痛みも少ない上に術後の回復が非常に早く、早期の退院・社会復帰が可能となる。また高齢者など開腹術には体力的に耐えないため、従来は治療が不可能とされていた患者に対しても適応可能である。さらに、入院・リハビリ期間の短縮に伴う医療費の節減や、手術痕が従来と比べ非常に小さく、美容の観点においても優れるといった側面もある。

このような手法は、脳神経外科、整形外科、産婦人科、眼科、心臓血管外科などあらゆる外科分野に展開されつつある。

適切な手術操作を可能とするためには鮮明な術野の映像を得ることが必須であるが、手術方式によっては十分な明るさをもった光源を導入することが困難な場合も存在する。たとえば、眼科手術においては、高強度の光線を網膜に照射し続けることは網膜組織に損傷を与える危険性もあり、避けなければならない。このような状況は出生前に母体の子宮内にいる段階で、またより微細な手術を微小な空間で行う場合には、挿入する内視鏡の直径はできるだけ小さいことが望ましく、十分な照明光学系を集積化することが困難な場合もある。このような場合は、低照度の環境でも鮮明な画像を得ることが可能な内視鏡システムが不可欠であり、次世代撮像システムの応用が期待される分野である。

(3) 手術顕微鏡への高感度カメラの応用

脳神経外科手術においては、マイクロサージェリーの手術顕微鏡が使用される。微細な手術操作のためには、明るい視野で鮮明な術野画像を提供することが不可欠であり、限られた照明条件の中で優れた画質を得るために高感度カメラの応用が有効であると考えられる。さらに、術中に上記(1)で述べた手法と同様に、脳腫瘍などの病変部位選択的に蛍光染色し、術中に病変部位を同定しながら組織摘出を行うことが試みられている。そのような例としては 5-aminolevulinic acid を使用した術中蛍光画像誘導手術の研究がある⁵⁴。脳腫瘍の摘出率の向上と患者の予後の改善に有効であると報告されている。このような計測系を手術顕微鏡に集積化する場合、手術では通常照明の術野観察が不可欠であることから、術野観測系と蛍光観測系を両方装備する必要がある。この場合観測に使用する光束を分割してそれぞれの観測系に導入する必要がある。また、分光測定を行うために波長域を制限した計測も行わなければならない。これらのことから画像計測のための光信号強度の低下が不可避であり、超高感度カメラや次世代撮像システムの応用が有効な分野であると考えられる。

3) 基礎的研究分野

(1) バイオ・生命科学分野

生体内の生命現象を先端計測技術によって生きたまま計測しようとする試みが現在盛んに研究されている。いわゆる分子イメージングと呼ばれる分野であり、生体環境中で、生きたまま生体のその場での細胞組織の機能を計測することを目指している。

この分野では、種々の生命現象を可視化するためのプローブ薬剤の開発と計測技術の開

発が両輪となって推進される。現在有力な可視化技術として重要視されている計測技術は、PET(positron emission tomography)に代表される放射線画像計測技術、分子の核磁気共鳴現象を利用するMRI(Magnetic Resonance Imaging)、そして蛍光・発光計測などの光計測技術である⁶⁾。

例えば、FRET (Fluorescence resonance energy transfer) と呼ばれる手法では、二つのタンパク間での相互作用によるエネルギーの授受過程を巧みに利用し、タンパク間が適切な配向となり、生理活性を示す場合のみにおいて蛍光信号が得られる(蛍光発光が生じる、あるいは消光現象が生じる)という現象を活用して、生体内のダイナミックな生命現象を可視化することが行われている。

光計測は表面からの到達深度が数百 μm に限られるという欠点はあるものの、放射線計測やMRI計測に比べて装置の小型化、内視鏡への組み込みなどが容易であり、生体を用いる実験系を容易に構築することが可能である。また、赤外光など比較的到達深度が得られる波長域での計測を行うことで、その欠点を補う試みや各種蛍光プローブなどの開発が行われている。生体内における機能発現の空間的分布や解剖構造との対応、さらにはその時系列的な解析が、今後の生命科学の発展には不可欠であり、動画像計測技術が重要な要素技術となる。

分子イメージングプローブ研究の進展に伴い、特定の細胞機能を認識するために細胞膜上のリガンドに特異的に結合する抗体薬などを用いた分子イメージングプローブを複数投与し、複数の情報を総合的に計測しようとする試みがなされている⁷⁾。実験動物において *in vivo* で複数の分子プローブを同定し、解剖構造と機能の局在情報を対応付けて計測するためには、分光画像計測が重要な技術となる。このような系では得られる光信号強度は一般に微弱であり、分光計測も必要なことから、次世代 HARP 撮像システムの応用分野として有力な分野であると考えられる。

4) 一般産業分野

システムの小型化やフレームレート向上などの実現により、次世代撮像システムの応用はスローモーションシーンを多用する映画撮影などへの活用が容易になるほか、地上との相対速度が大きい飛行体から行う航空測量や、高速で移動する乗り物からの撮影などにも適用領域が広がるものと思われる。

参考文献

- [1] “平成 18 年度 超高感度撮像システムの高度な活用に関するフーズビリティスタディ 報告書 表 2.6-01 ”, (財)機械システム振興協会, p46, 2007
- [2] UMAR MAHMOOD : "Near Infrared Optical Applications in Molecular Imaging", IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY MAGAZINE, JULY/AUGUST 58-66 2004
- [3] David Chatenever: Minimally invasive surgical visualization: experience in transition, Surg Endosc, 20: S412-S418, 2006
- [4] JINHA M. PARK AND SANJIV S. GAMBHIR: The Future of Bronchoscopy in Diagnosing, Staging and Treatment of Lung Cancer, Respiration 73:399-409, 2006
- [5] Walter Stummer, Uwe Pichlmeier, Thomas Meinel, Otmar Dieter Wiestler, Friedhelm Zanella, Hans-Jürgen Reulen: Fluorescence-guided surgery with 5-aminolevulinic acid for resection of malignant glioma: a randomised controlled multicentre phase III trial, Lancet Oncol 7: 392-401, 2006
- [6] TERUO HIRUMA: Photonics Technology for Molecular Imaging, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 93, NO. 4, 829-843, 2005
- [7] Ma B, He F, Jablonska J, Winkelbach S, Lindenmaier W, Zeng AP, Dittmar KE.: Six-color segmentation of multicolor images in the infection studies of *Listeria monocytogenes*, Microsc Res Tech. 70(2):171-178, 2007.

4 スタディの今後の課題及び展開

(1) 課題のまとめ

これまで超高感度撮像デバイスとしては電子増倍型のイメージンテンシファイアが広く使われてきたが、最近では、これに変わり EM-CCD (電子増倍 CCD) が固体撮像素子なるが故に比較的広く活用され始めた。しかし暗電流を低く抑える目的で冷却機構を必要とする、入射光に対するダイナミックレンジが狭いなどの点から、高画質なコンテンツを得るには問題が多い。

これに対して、NHK が中心となって開発してきた超高感度 HARP 撮像管は、一般に広く使われている CCD デバイスをはじめ、これまでの他の撮像技術では良好な画像信号が得られない低照度下の撮像時に付加されるノイズが少なく、これまで光量不足で撮影できなかった被写体も鮮明な画質で撮影できる点に大きな特徴がある。したがって高画質が要求される放送分野や医学分野には広く活用されてきた。しかし、一般の民生用途で使うには、赤色及び緑色感度の更なる高感度化、白キズの抑制、色残像の低減による高画質化、操作性の改善が求められていた。

本スタディでは昨年、HARP 撮像デバイスがもつ超高感度、広ダイナミックレンジ、低ノイズなどの特長を活かすことができる放送分野以外の分野で、その適用が強く求められている分野を安全・安心・環境の視点から検討し、今後の主要な分野として、1) 空港・港湾などの広域監視、交通監視、店舗での入店者監視などの監視分野、2) 眼科内視鏡、胎児手術などの医療分野、3) バイオ・生命科学分野などでの微弱光での観察や、生きたままでの生体観察などの基礎研究分野、4) 一般の産業分野では映画やドラマの撮影現場や飛行体からの撮影、航空測量分野など 4 つの適用可能な分野を提案し、本年度は主として店舗、金融機関などの入店者監視、交通取締りなどでの車両監視、空港・港湾などの施設監視の 3 つの想定した撮影実験を行い、指摘した適応可能分野の検証実験を行い、強い照明下での撮影画像のハイライト処理に課題があることが判明した。今後は、医療応用を含め実用化が可能なテーマを選び、詳細な仕様を決め、実用化に向けた実験を行う必要がある。

一方、超高感度 HARP 撮像管については、本年度は、HARP 膜の緑色感度向上と白キズの発生の抑制が両立できる HARP 膜構造の再設計を行った。その結果、Te 添加層を光入射側に近づけることで緑色感度を約 1.5 倍に、LiF 添加の条件を工夫することで白キズに対する安定性も保持できることを確認した。さらに、地磁気によるレジストレーションずれを抑える目的でカメラの周囲を厚さ 0.5mm のパーマロイ材で製作したケースで覆うことにより、このレジストレーションずれを大幅に抑制でき、実用上、解決できる見通しが得られたと考える。

撮像システムの高感度化に関しては、使用者側の要請は強く、これまで常に最重要課題として扱われてきた。これが実現できれば、超高感度撮像システムの適用範囲のさらなる拡大が見込める。光ファイバ基板上に HARP 膜を堆積した HARP 撮像管とイメージンテンシファイアとを結合した超高感度撮像システムはその有力な手段であると考えられ、今後、検討する必要がある。

超高感度撮像カメラの機能向上に関しては、本年度、信号処理部 DSP 内のデジタル信号処理機能を追加することにより R、G、B チャンネルのガンマ、輪郭補正、マスキング等の処理を高精度に調整できることを確認した。さらに、カメラコントロールパネルの新規設計・製作を行い、各種機能を簡便な操作で容易に設定できるなど操作性の向上を図った。

超高感度 HARP 撮像システムは、性能的には強い照明下での撮影を除けば上述の 4 つの民生分野で十分適用可能であると判断できたが、この分野で広く需要を満たすには、均一な高画質をはじめ小型化、低消費電力化、低価格化、デバイスの堅牢化を実現する必要がある。

そこで本年度は、上記の課題を解決できると期待される冷陰極 HARP 撮像板の特徴と現在の開発状況も調査した。冷陰極 HARP 撮像板は NHK 放送技術研究所が中心となって開発中で、多画素化、カラー化の実現、集束機構の改良などに課題を残している。これらの課題も解決の方向性は示されており、数年以内には実用できると判断した。そこで、その冷陰極 HARP 撮像板を使った撮像システムの適用可能領域を調査した。冷陰極 HARP 撮像システムの高フレームレート、ハイライト処理などの新たな特徴を活かした適用範囲として、車載での撮影や高輝度領域と低輝度領域が混在する画面の撮影、内視鏡手術での撮影などの臨床分野、分子イメージングでの動画像計測などバイオ・生命科学分野などが新たに追加される。

これまでに期待される分野として議論された領域に次世代の冷陰極 HARP 撮像板を含む超高感度撮像システムを実際に適用して、その有効性を検証し、新たに開発した応用分野で新規な発見に導くコンテンツや芸実性の高いコンテンツの取得を内外に示していくことが重要である。

(2) 今後の展開

HARP 撮像管カメラのもつ低ノイズでかつ超高感度、広ダイナミックレンジの特長に加えて、冷陰極 HARP 撮像板カメラで期待される小型化、低価格化、高フレームレート駆動や画質の均一化、ハイライト処理の実現は、車載カメラによる情報取得分野、空港・港湾等での夜間広域監視、防犯分野、道路交通監視分野、医療やバイオ等の医学・生命分野、飛行体や人工衛星などからの撮影・測量分野、分光動画像計測などの学術分野、エンターテインメントなど幅広い領域で従来の撮像に対する概念・認識を根本的に変える可能性を含んでいる。

今後は、これまでのスタディで明らかにされた次世代システムも含め超高感度撮像カメラシステムの適用範囲の中から、特に有望な適用分野、市場から要請の強い分野について本年度のスタディでは不十分であった要求仕様を詳細に検討し、具体的なシステムの実証実験からその有効性を確認し、安全・安心・環境に寄与できるコンテンツの評価が必要である。

冷陰極 HARP 撮像板が実現できると汎用性の高い超高感度撮像カメラシステムとして普及し、広く民生分野で感度制限を受けないコンテンツを制作・利活用ができるようになると考えられ、デジタルコンテンツのさらなる普及促進が期待できる。

システム開発 19 - F - 5

**超高感度撮像システムの高度な活用
に関するフェージビリティスタディ**

報 告 書

(要 旨)

平成20年3月

作 成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03-3454-1311

委託先 財団法人デジタルコンテンツ協会
東京都千代田区一番町23番地3
TEL 03-3512-3900

