

エネルギー科学研究科

エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

Eye-Sensing HMD を用いた脳機能障害  
題目： 診断のための計測システムの構築  
と実験研究

指導教官： 吉川 榮和 教授

氏名： 岡田 芳信

提出年月日： 平成 14 年 2 月 6 日 (水)

## 論文要旨

題目：Eye-Sensing HMD を用いた脳機能障害診断のための計測システムの構築  
と実験研究

吉川榮和研究室, 岡田芳信

要旨：

近年、日本では高齢化が進んでおり、日本社会は過去に経験したことのない高齢社会へと向かっている。それと同時に、少子化も進み、その結果、将来の日本において医療保険の破綻をはじめ、高齢者を若年層の人達が支えきれないといった深刻な社会問題が起きることが懸念されている。その一方で、高齢者、障害者に適切な技術的サポートをする必要がある。高齢者、障害者の中には脳機能障害を抱える人も数多くおり、また、高齢化が進むにつれ、その数は増えるだろう。脳機能障害に対する対策で最も有効な方法は、早期発見、早期治療である。しかし、現在、脳機能障害に関する早期発見、早期治療の体制は確立されておらず、早期発見が遅れてしまっている場合が数多く見られる。こうしたことから、脳機能障害の早期発見を実現するためには、定期検診のような機会にスクリーニング検査を実施することが望ましい。

そこで、本研究では、この脳機能障害のスクリーニング検査として、Eye-Sensing Head-Mounted Display(ES-HMD)を用いた視覚系指標計測による脳機能障害の診断の実用化を目指し、視覚系指標を利用した脳機能障害の検査手法の提案、基礎的な測定手法の考案、その測定システムの開発を目的とする。具体的には、脳機能障害と視覚系に関する従来の研究事例について調べ、(1)対光反応時における瞳孔径の計測、(2)移動指標追跡時の眼球運動の計測、(3)一点注視時の眼球運動の計測を行うことにした。

対光反応時における瞳孔径の計測では、目に光を短時間照射し、その間の瞳孔径を計測する。移動指標追跡時の眼球運動の計測では、左右に動く視標を目で追ってもらい、その間の視点位置を計測する。一点注視時の眼球運動の計測では、中央で静止しているターゲットを注視してもらい、注視している間の被験者の視点位置を計測する。

そして、これらの視覚系指標を計測するために、瞳孔対光反応測定システムでは、白色LEDによる光刺激提示機能と瞳孔径計測機能を開発し、評価実験を行った。追従運動測定システム、一点注視測定システムでは、被計測者に映像を提示すると同時に視点位置を計測するシステムを開発し、評価実験を行った。さらに、本研究で開発した3つの測定システムを用いて、スクリーニング検査を想定した被験者実験を行い、スクリーニング検査に向けて、測定手順やその方法の問題点を抽出し改善点を探った。

これらの実験を通して、ES-HMDを用いた簡便な視覚系指標による検査を行える可能性が分かり、今後の展望としては、ES-HMDの装着方法と検査方法の改良を提案した。

# 目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 高齢社会と理想の共生社会	3
2.2 脳機能障害の診断に関する知見	7
2.2.1 アルツハイマー症	8
2.2.2 精神分裂病	8
2.2.3 注意欠陥多動性障害 (ADHD)	9
2.3 研究の目的	9
第 3 章 従来に関連研究と計測指標の選定	12
3.1 視点位置検出および瞳孔径計測に関する従来手法	12
3.1.1 視点位置の検出方法	12
3.1.2 瞳孔径計測方法	13
3.2 脳機能障害と視覚系に関する従来研究	16
3.3 計測指標の選定	20
第 4 章 Eye-Sensing HMD による視覚特性計測機能の開発	22
4.1 Eye-Sensing HMD の仕様	22
4.1.1 全体構成	23
4.1.2 ヘッドユニット	23
4.1.3 映像表示系	25
4.1.4 眼球撮像系	25
4.1.5 撮像信号処理系	26
4.2 瞳孔対光反応測定システムの開発	31
4.2.1 光刺激提示機能	31
4.2.2 瞳孔中心位置と瞳孔径計測手法	35
4.2.3 瞳孔径計測の計算回数の決定	37

4.2.4	瞳孔径計測機能の評価実験	39
4.3	瞳孔対光反応測定システムの評価実験	44
4.3.1	実験の目的	44
4.3.2	実験の方法	44
4.3.3	実験の結果と考察	46
4.4	追従運動測定システムの開発	52
4.5	追従運動測定システムの評価実験	52
4.5.1	実験の目的	52
4.5.2	実験の方法	54
4.5.3	実験の結果と考察	55
4.6	一点注視測定システムの開発	63
4.7	一点注視測定システムの評価実験	63
4.7.1	実験の目的	63
4.7.2	実験の方法	64
4.7.3	実験の結果と考察	65
<b>第 5 章</b>	<b>開発した測定システムによる基礎的評価実験</b>	<b>73</b>
5.1	実験の概要	73
5.1.1	実験環境	73
5.1.2	実験条件	73
5.1.3	実験全体の手順	74
5.2	瞳孔対光反応計測実験	75
5.2.1	実験の目的	76
5.2.2	実験の方法	76
5.2.3	実験の結果と考察	77
5.3	眼の追従運動計測実験	83
5.3.1	実験の目的	83
5.3.2	実験の方法	83
5.3.3	実験の結果と考察	85
5.4	一点注視計測実験	87
5.4.1	実験の目的	87
5.4.2	実験の方法	87

5.4.3 実験の結果と考察 . . . . .	88
5.5 アンケートの回答結果 . . . . .	90
5.6 まとめと今後の展望 . . . . .	93
第 6 章 結論	96
謝 辞	98
参 考 文 献	100

## 目 次

2.1	平成 11 年 10 月現在の国内人口ピラミッド	3
2.2	国内の年齢層別人口推移	4
2.3	国内の総人口に占める高齢者の割合の推移	5
2.4	国内の老年人口指数	6
2.5	ES-HMD による脳機能障害のスクリーニング検査の将来の実用化像	10
3.1	眼球と眼筋	12
4.1	ES-HMD の外観	22
4.2	ES-HMD の全体構成図	23
4.3	ES-HMD のヘッドユニットと制御 BOX の外観	24
4.4	ES-HMD の各ブロックの入出力関係図	24
4.5	ES-HMD のヘッドユニットの構成図	25
4.6	ES-HMD により撮像された眼球画像の一例	26
4.7	ES-HMD の撮像信号処理系の構成	27
4.8	撮像された瞳孔二値化画像	28
4.9	瞳孔画像と対応するビデオ信号	29
4.10	PC に送られる瞳孔形状情報	29
4.11	瞳孔対光反応測定システム構成	31
4.12	作成した光刺激提示装置	32
4.13	作成した光刺激提示装置の回路図	33
4.14	作成した白色 LED の配置	33
4.15	オシロスコープに出力された波形	34
4.16	ノイズが混入している瞳孔形状データ	36
4.17	瞳孔中心位置と瞳孔径算出方法のステップ	37
4.18	瞳孔径計測における計算回数と計測値の標準偏差	39
4.19	CCD カメラと眼球との設定位置と CCD カメラに映る瞳孔の大きさの関係 (瞳孔が小さくなる場合)	41

4.20	CCD カメラと眼球との設定位置と CCD カメラに映る瞳孔の大きさの関係 (瞳孔が大きくなる場合)	42
4.21	ES-HMD を装着したときの眼球の位置	43
4.22	ES-HMD から 10.0mm 離れたところにおかれた五円玉の位置	43
4.23	対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化	47
4.24	対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化	47
4.25	瞳孔収縮前の眼球映像	48
4.26	最大収縮時の眼球映像	48
4.27	対光反応測定における計測指標	49
4.28	対光反応測定における収縮速度の計算方法	50
4.29	対光反応測定における再拡張速度の計算方法	51
4.30	追従運動測定システム構成	53
4.31	ES-HMD に提示されるターゲット	53
4.32	追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化	56
4.33	追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化	57
4.34	ターゲットが左端に位置している時の左眼眼球映像	57
4.35	ターゲットが右端に位置している時の左眼眼球映像	58
4.36	追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球運動の速さ	60
4.37	追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球運動の速さ	61
4.38	追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球運動の速さ (移動平均後)	61
4.39	追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球運動の速さ (移動平均後)	62
4.40	一点注視測定において ES-HMD のディスプレイに表示される映像	63
4.41	一点注視測定時における被験者の左眼の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置	66
4.42	一点注視測定時における被験者の右眼の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置	67
4.43	5 円玉の穴の測定における左眼側の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置	67
4.44	5 円玉の穴の測定における右眼側の CCD 座標における瞳孔中心位置	68
4.45	注視時における被験者の左眼の瞳孔中心位置とその軌跡	69

4.46	注視時における被験者の右眼の瞳孔中心位置とその軌跡 . . . . .	70
4.47	注視時における被験者の左眼の3点移動平均における速さ . . . . .	71
4.48	注視時における被験者の右眼の3点移動平均における速さ . . . . .	72
5.1	被験者 D の対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化 . . . . .	80
5.2	被験者 D の対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化 . . . . .	81
5.3	被験者 G の対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化 . . . . .	81
5.4	被験者 F の対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化 . . . . .	82
5.5	被験者 E の左眼の瞳孔中心位置 . . . . .	90
5.6	被験者 E の右眼の瞳孔中心位置 . . . . .	91
5.7	被験者 E の左眼の眼球運動の速さ . . . . .	91
5.8	被験者 E の右眼の眼球運動の速さ . . . . .	92
5.9	計測中に ES-HMD を手で支える被験者 E . . . . .	93



# 表 目 次

3.1	眼球運動測定方法の特徴と欠点の比較 . . . . .	14
3.2	眼球運動測定方法の時間分解能と空間分解能の比較 . . . . .	15
4.1	ES-HMD のヘッドユニットの仕様 . . . . .	23
4.2	映像表示系の仕様 . . . . .	25
4.3	ES-HMD の赤外線 CCD カメラの仕様 . . . . .	27
4.4	ES-HMD の空間分解能 . . . . .	30
4.5	光の照射時間を 20 回計測した時の平均時間と標準偏差 . . . . .	35
4.6	各計算回数での 1 フレームあたりの処理時間 . . . . .	38
4.7	五円玉の穴の補正前の直径計測値の平均と標準偏差 . . . . .	41
4.8	五円玉の穴の補正後の直径計測値の平均と標準偏差 . . . . .	42
4.9	瞳孔対光反応計測における計測指標のデータ . . . . .	52
4.10	被験者の性別、年齢、視力について . . . . .	55
5.1	実験を開始した時刻 . . . . .	74
5.2	被験者の性別、年齢、視力について . . . . .	75
5.3	被験者 D の瞳孔対光反応計測実験の結果 . . . . .	78
5.4	被験者 E の瞳孔対光反応計測実験の結果 . . . . .	78
5.5	被験者 F の瞳孔対光反応計測実験の結果 . . . . .	78
5.6	被験者 G の瞳孔対光反応計測実験の結果 . . . . .	78
5.7	被験者 H の瞳孔対光反応計測実験の結果 . . . . .	79
5.8	眼の追従運動計測実験の結果 . . . . .	86
5.9	一点注視実験の実験結果 . . . . .	89

# 第 1 章 序論

近年、日本では高齢化が進んでおり、日本社会は過去に経験したことの無い高齢社会へと向かっている。昨年 10 月 31 日、総務省が実施した 2000 年度国勢調査の結果が新聞の一面に掲載された<sup>[1]</sup>。それによると、65 歳以上の高齢者の人口が 15 歳未満の年少者の人口を上回り、65 歳以上の高齢者の人口は 2,200 万人で、総人口の 1 億 2,692 万人の内に占める割合（高齢化率）は、17.3%であることがわかった。医療の発達により高齢化が進んできたと同時に、生活が豊かになり少子化も進んだ。その結果、将来の日本において医療保険の破綻をはじめ、高齢者を若年層の人達が支えきれないといった深刻な社会問題が起こることが懸念されている。

こうした現状を踏まえ、近年著しく発展してきた情報技術を活用して、高齢者、障害者が自立し、社会参画のしやすい理想の共生社会を実現していくことは重要である。そのためには、高齢者、障害者に適切な技術的サポートをする必要がある。高齢者、障害者の中には脳機能障害を抱える人も数多くおり、また、高齢化が進むにつれ、その数は増えると予想される。脳機能障害に対する対策で最も良い方法は、早期発見、早期治療である。しかし、現在、脳機能障害に関する早期発見、早期治療の体制は確立されておらず、患者と患者の家族が病院に足を運んで医師に診断してもらい、初めて脳機能障害と判明することがほとんどである。そして、早期発見が遅れ回復不能で痴呆化する場合は数多く見られる<sup>[2]</sup>。こうしたことから、脳機能障害の早期発見を実現するためには、定期検診のような機会にスクリーニング検査を実施することが望ましい。現在の脳機能障害の診断方法は、CT、MRI 等の大型画像診断装置を用いる方法や行動観察による方法等が主流であるが、これらはスクリーニング検査には適していない。そこで、脳機能障害のスクリーニング検査を行うために、簡便な方法により脳機能に障害の疑いのある人を早い段階で見分ける方法が必要である。

本研究では、以上のような背景に鑑み、この脳機能障害のスクリーニング検査を行うための簡便な手法として、視覚系指標計測機能付きヘッドマウントディスプレイ (Eye-Sensing Head-Mounted Display; ES-HMD) と名付けた特別なヘッドマウントディスプレイを用いた視覚系計測による脳機能障害の診断手法を提案し、計測システムの開発を行った。そして、実験を通してこれらの計測システムと脳機能障害のスクリーニング検査を想定した計測方法を評価し、問題点や今後の課題を抽出した。

以下に、本論文の構成を述べる。まず第2章で研究の背景にある高齢者社会と理想の共生社会について述べ、脳機能障害に関する知見を述べる。こうした背景を踏まえて、脳機能障害の視覚系指標による診断の実用化を目指し、本研究の意義と本研究の目的について述べる。第3章では、従来に関連研究として、視点位置検出および瞳孔径計測に関する従来手法について述べ、脳機能障害と視覚系に関する過去の研究事例に関して文献調査により得た知見を述べる。この脳機能障害と視覚系に関する過去の研究事例の文献調査の結果から、ES-HMDを用いて計測する検査方法を選定する。第4章では、ES-HMDの仕様と選定する視覚系指標を計測するための測定システムの開発とその測定システムの評価実験について述べる。そして、第5章では、脳機能障害のスクリーニング検査を想定して、ES-HMDを用いた被験者実験を行い、被験者実験で得られた結果と考察を述べ、実験全体の評価についても述べる。最後に6章で結論として本研究を総括し今後の課題をまとめる。

## 第 2 章 研究の背景と目的

### 2.1 高齢社会と理想の共生社会

本節では、研究の背景として、急速に進展する日本の高齢化と理想の共生社会について論じ、共生社会を実現するために本研究で着目する課題について述べる。

平成 11 年 10 月現在、日本の総人口は 1 億 2,668 万 6 千人で、男性が 6,197 万 2 千人、女性が 6,471 万 4 千人で、女性の方が 274 万 2 千人多くなっている。この 1 年間に 20 万人の増加で、増加率は 0.16% であった。増加率は、平成 6 年以降 0.2% 台を推移していたが、戦後初めて 0.2% を下回り、増加数、増加率ともに戦後最低を記録した。図 2.1 は、日本の人口ピラミッドである。年齢層別に見ると、0~14 歳人口（年少人口）は 1,874 万 2 千人（総人口の 14.8%）で、15% を下回り、5~64 歳人口（生産年齢人口）は 8,675 万 8 千人（68.5%）、65 歳以上人口（老年人口）は 2,118 万 6 千人（16.7%）である [3]。

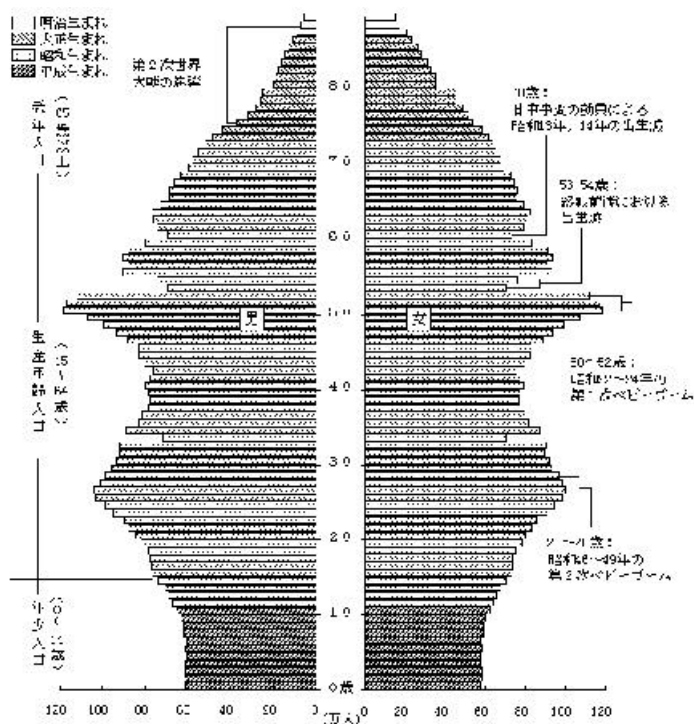


図 2.1: 平成 11 年 10 月現在の国内人口ピラミッド

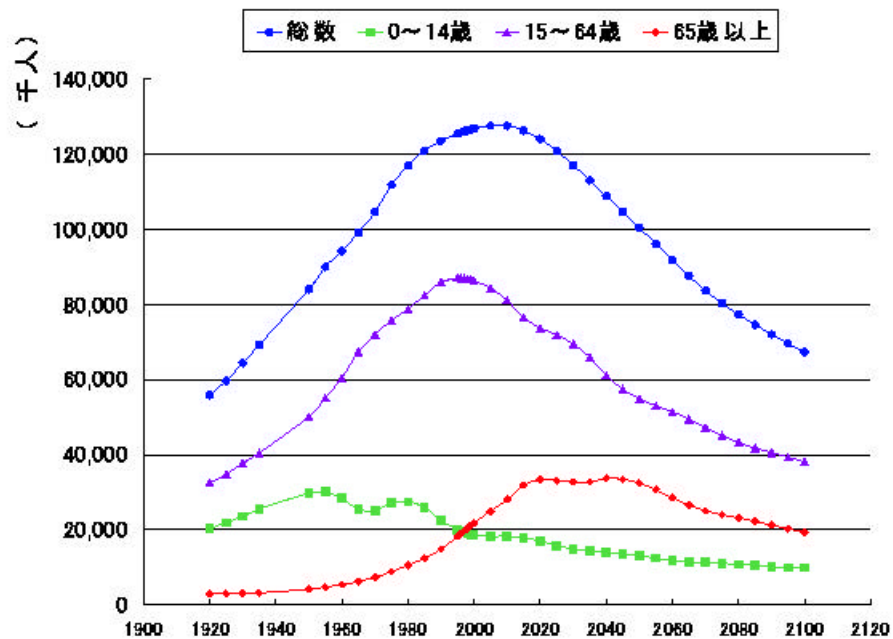


図 2.2: 国内の年齢層別人口推移

一方、平成 9 年 1 月における日本の将来推計人口の中位推計<sup>[4]</sup>によると、総人口は今後増加を続け、平成 12 年 (2000) の 1 億 2,689 万人を経て、平成 19 年 (2007) に 1 億 2,778 万人でピークに達した後減少に転じ、平成 62 年 (2050) には 1 億 50 万人に減少するものと予想されている。図 2.2 に日本国内の年齢層ごとの過去から将来の人口推移を示す。この図 2.2 を見ると、上記のように 2007 年頃から総人口は減少に転じているのに対して、高齢者 (65 歳以上の人々) の人口は、2020 年頃まで増え続け、2045 年頃まで横ばいに推移し、その後減少に転じている。つまり、高齢者が国内の総人口に占める割合が増えることを意味している。そこで、この日本の将来推計人口の中位推計を使って、日本国内の総人口に占める高齢者の割合の推移を図 2.3 に示す。図 2.3 に示すように、2050 年まで日本国内の総人口に占める高齢者の割合は増え続け、2040 年には、その割合は 30% を越えると推定されている。

また、序論でも述べたように、昨年、65 歳以上の高齢者の人口が 15 歳未満の年少者の人口を上回った。今後も、高齢者の数は増え続けるが、図 2.2 より、今後少子化の影響を受けて生産年齢 (15~64 歳) の人口は逆に減り続けていくと推定されている。高齢者を支える立場にある生産年齢の人達にかかってくる高齢者を支える負担に関する指数として、老年人口指数がある。老年人口指数は、次の式で表わされる指数である。

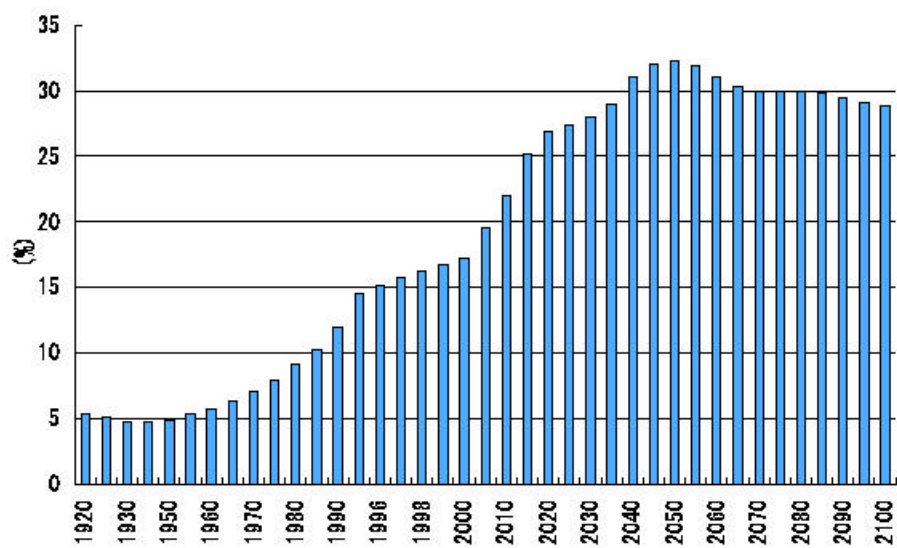


図 2.3: 国内の総人口に占める高齢者の割合の推移

$$\text{老年人口指数} = 100 \times \frac{\text{65歳以上の人口}}{\text{15歳～64歳人口}}$$

日本の将来推計人口の中位推計を用いて、老年人口指数を図 2.4 に示す。図 2.4 より、老年人口指数は、2025 年の 46.0% を経て、2050 年には 59.1% のピークとなる。以上より予想される日本の社会の将来像は、高齢者を生産年齢層の人達が支えきれない高齢社会である。

共生という言葉はもともと生物学の用語 symbiosis の訳語である。共生とは、異種の生物の共存様式を意味し、通常は 2 種類の生物が互いに利益を交換して生活する、相利共生をさす概念として使われていた。最近それから派生して人間社会の中で、「社会の中で異質なものがお互いに助け合い、ともに共存する」というような意味合いで「共生社会」なるものを様々な識者が論じている。しかし、一口に共生社会といってもその内容は千差万別で、全体を網羅すると、男女の共生、障害を持つ人との共生、または外国人との共生、それから人と人だけではなく人と自然との共生、異文化との共生といったように様々な共生が論じられている。シンビオ社会研究会編著「京都からの提言 - 明日のエネルギーと環境その続編」<sup>[5]</sup> では、人類の将来課題としての「共生社会」を論じている。その結論は、次のようになる。「持続可能な経済社会を維持するためには、資源の有限性からして、その使用に関しては循環・再生型でなければならず、

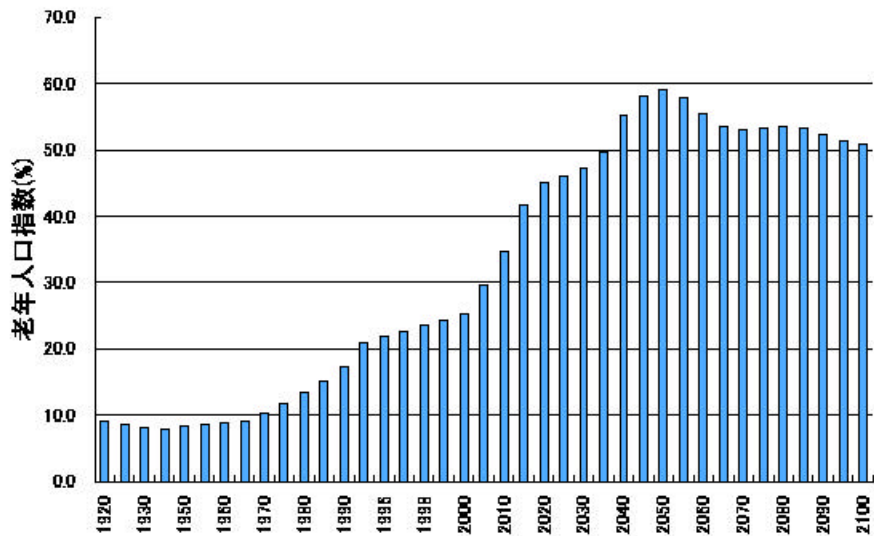


図 2.4: 国内の老年人口指数

人々が生存を続けるためには、お互いに扶助し支援し補完しあう社会システムが必要となる。そこで、社会の構成員たる人々の差異を認め、むしろその差異を相互豊饒化のモーメントとすることによって、人々が自立しつつ異質者の共存をはかる社会の様相を「共生社会」と考えている。」

上記のように、日本では、高齢化が急速に進むことが予想されており、生産年齢者と高齢者との共生は絶対不可欠である。また、高齢者には、障害を持つ人も数多くおり、高齢化に伴って、障害を抱える人が増えることも予想される。こうしたことから、高齢社会に向けて、高齢者、障害者との共生社会の体制を整えていくことは、非常に重要である。こうした背景を受け、ここでは、高齢化を背景とした理想の共生社会として、高齢者と障害者との理想の共生社会を特に取り上げることとする。高齢者・障害者が健常者と等しく共生する理想の共生社会とは、高齢者や障害者の失った身体機能を問題にして介護してばかりいるのではなく、高齢者や障害者の社会参加、労働参加を促し、得意の分野で労働の担い手として積極的に社会に参加してもらう社会である。高齢者や障害者の身体機能が十分ではない場合には、主に知的労働に参加することが想定され、そうした場合、IT技術を駆使した情報機器が必要不可欠となる。

しかし、高齢者や障害者には、情報機器を使えない人も多くいる。事実、情報機器を開発するメーカーの技術者は、働き盛りの男性で、高齢者や女性など機器に弱い人や目や耳、手などに障害のある人をユーザーとして念頭に入れずに技術万能の機器を

開発してきた。最近、欧米等のバリアフリーやユニバーサルデザインの影響で、このような問題はデジタルデバイドと言われ、人権問題となっている。そうしたことから、誰もが使える情報機器を実現するための技術としてヒューマンインタフェース技術は非常に重要であり、ITを活用して高齢者・障害者を含めて全ての人々が互いに助け合う共生社会を実現するためには、不可欠な技術である。

脳機能障害の早期診断に着目すると、医学的に、脳はその人の全ての機能を司っている場所であり、その脳機能に異常が見られるかどうかを調べることは、非常に重要である。高齢者には、脳機能に関する障害を持つ人も数多く、今後、高齢化に伴って、脳機能障害を抱える人が増えてくることが予想される。また、高齢者でなくとも社会の複雑化により高ストレスが生じ、成人や児童でも脳機能障害に苦しむ人々が増えている。これらの脳機能障害には、アルツハイマー症や精神分裂病、注意欠陥多動性障害（ADHD）などが挙げられる。現在、これらは症状が顕著に現れた後、はじめて病院に行き、診断を受け、脳機能障害であることを知るとというのが現状である<sup>[2][6]</sup>。脳機能障害には、早期に診断を受け、早期に適切な治療がなされれば治るものもある。現在の脳機能障害の診断体制を変え、脳機能障害の早期発見、早期診断を行うためには、定期検診等の誰もが受ける機会のある検診でスクリーニング検査を実施することが望ましい。現在の脳機能障害の診断方法は、CT、MRI等の大型画像診断装置を用いる方法や行動観察による方法等が主流であるが、これらはスクリーニング検査には適していない。そこで、脳機能障害のスクリーニング検査を行うために、簡便な方法で脳機能に障害の疑いのある人を見分ける方法が必要である。また、こうした簡便な診断方法の確立は、効率化を計るための医療のIT化に向けても重要なことであり、ひいては、高齢者、障害者との共生社会にも大きく貢献するものである。

## 2.2 脳機能障害の診断に関する知見

本研究では、脳機能障害として、高齢者の痴呆病として大きな割合を占めているアルツハイマー症、精神的疾患である精神分裂病、脳機能障害を背景とした行動障害である注意欠陥多動性障害（ADHD）を想定する。そこで、具体的に、アルツハイマー症、精神分裂病、注意欠陥多動性障害がどのような症状なのか、また脳のどのような欠陥と関係しているのか、現在の診断方法、診断基準についての文献調査を行った結果を述べる。



## 2.2.1 アルツハイマー症

現在わが国における痴呆老人はおよそ 125 万人に上ると推定されている。アルツハイマー症<sup>[7][8]</sup>に関しては、発症年齢について初老期（40～65 歳未満）の発症の場合を早発型アルツハイマー症、あるいは狭義のアルツハイマー症、老年期（65 歳以降）発症の場合を遅発型アルツハイマー症、あるいは老年期痴呆と分類されてきたが、最近では、病理学的にも病態機序の上からも両者に本質的な差はないとする考え方から、両者をあわせてアルツハイマー型痴呆という名で呼ぶことが多い。最近の疫学調査によると老年者で痴呆症のあるケース、すなわち老年期痴呆と呼べる状態の約 60%はアルツハイマー症とみてよく、残り約 40%が脳血管障害に基づく痴呆と考えられている。このことから、アルツハイマー症は特殊な疾患ではなく老年者によくみられる痴呆疾患であり、痴呆の最も一般的なものと言える。こうしたことから、アルツハイマー型痴呆は、老年人口が増えるにつれてさらに増えるものと予想されている。

痴呆を起こしうる疾患には、アルツハイマー型痴呆や脳血管性痴呆の他にも、大脳皮質を侵す変性疾患として Pick 病、皮質基底核変性症、びまん性 Lewy 小体病がある。大脳基底核、脳幹を侵す神経変性疾患として、進行性核上性麻痺、ハンチントン病、パーキンソン病の一部があり、この他にも、内科疾患に伴うもの（甲状腺機能低下症などの内分泌疾患、ビタミン B<sub>1</sub>、B<sub>12</sub> などの欠乏症、腎疾患、肝疾患など）、正常圧水頭症、慢性硬膜下血腫、脳腫瘍、感染症（脳炎、梅毒、AIDS など）、薬物の副作用がある。これらの中には、治療可能な疾患も多く含まれているが、アルツハイマー型痴呆については、現在のところ抜本的な治療法は確立されておらず、主として介護の点に重点が置かれているのが現状である。この他、アルツハイマー症の詳しい症状、原因、診断、診断基準等は、付録 A に示す。

## 2.2.2 精神分裂病

精神分裂病<sup>[9]</sup>は、大変特徴のある病気であるが、その特徴は複雑で、精神機能全体が損われる病気だとも言われている。つまり、分裂病は体に異常は出ず、完全に精神のみに関わる疾患である。精神分裂病患者の症状には具体的に次のようなものがある。

### 2 感情

その人らしさを形作っているもの。これがないと落ち着いていられない。

### 2 思考

これが壊れると妄想が生じたり、まとまった考えが出来なくなる。

## 2 行動

感情や思考の崩壊に伴って崩壊する。

この他、精神分裂病の詳しい症状、原因、診断、診断基準等は、付録 D に示す。

### 2.2.3 注意欠陥多動性障害 (ADHD)

教育現場で、授業中に教室を歩き回る、話に集中できない、友達の邪魔をするなど動きが激しく注意散漫で集団行動からはずれやすい子供がでてきている。こうした行動をする子供達の中には注意欠陥多動性障害<sup>[10][11]</sup>(ADHD - attention-deficit/hyperactivity disorder、以下 ADHD と略す) という脳機能の発達障害を持つ子供がいることが知られてきている。

ADHD は、7 歳未満に発症し、不注意、多動性、衝動性という 3 つの行動を示す行動障害である。不注意と多動性を併せ持つ場合 (混合型) とどちらかが主症状の場合があるが、全体の 85 ~ 90% は混合型である。また、ADHD の発症頻度は、文献ごとによって異なるが、2 ~ 7% と推定されている。一般に、小児の 3 ~ 5% が ADHD と推定され、性差では、明らかに男児に多く、男女比は 4 ~ 6:1 といわれる。遺伝性に関しては、一卵生双生児の一致率が高いことや、患者の父親の約 1/4 に同様の行動パターンを認められることから、ある程度の遺伝的要因が発症に関与すると考えられている。この他、ADHD の詳しい症状、原因、診断、診断基準等は、付録 F に示す。

## 2.3 研究の目的

上述のように、脳機能障害の早期発見、早期診断を行うためには、定期検診等の誰もが受ける機会のある検診でスクリーニング検査を実施することが望ましく、そのためには、簡便な方法で脳機能障害の疑いのある人を見分ける方法が必要である。この簡便な脳機能障害のためのスクリーニング検査が実用化され、高い確率で見分けることができるようになれば、脳機能障害に対する社会一般での理解度も上がり、また、脳機能障害者に対する早期対策や適切な環境作りにも非常に役立つものになるのではないかと考えられる。

そこで、本研究では、本研究室で開発してきた視覚系指標計測機能付きヘッドマウントディスプレイ (Eye-Sensing HMD、以下 ES-HMD と略す) を用いて視覚系指標を計測し、計測された視覚系指標を用いた脳機能障害のスクリーニング検査の実用化を

### 定期検診の受診



移動車内でのES-HMDによる  
脳機能障害に対する検査



異常の疑いがあれば、

医師達による精密な診断



早期発見、早期診断

早期対策の実現

図 2.5: ES-HMD による脳機能障害のスクリーニング検査の将来の実用化像

目指す。これより、本研究は、ES-HMD を用いた応用研究として、視覚系指標を用いた脳機能障害の診断手法の確立に資するものである。

脳機能障害のスクリーニング検査の実現とその実用化に向けて、ES-HMD を用いることには以下のような利点がある。

- 2 装置が小さいため、いつでもどこでも持ち運びが可能である。
- 2 簡易な計測のため、気軽に検査を受けることができる。

この検査の将来の実用化像を図 2.5 に示す。X 線撮影車のような乗り物に ES-HMD と必要な機材を積み込み、定期検診等としてこの検査を受けてもらい、異常が認められた人には医師による精密な診断を受けに行くように促し、脳機能障害の早期発見、早期診断、早期治療対策を実現するものとなる。

ES-HMD による視覚系指標を用いた脳機能障害のスクリーニング検査の実用化に向けては、以下の順に段階的に研究開発を進める必要がある。

1. 視覚系と脳機能障害との関連性を過去の研究事例から調査する。
2. 脳機能障害に関連する基礎的な視覚系指標の測定システムを提案し開発する。
3. 脳機能障害のスクリーニング検査に使用することを念頭において基礎的な測定システムの改良を図る。

4. 改良された測定システムを用いて、様々な年齢層の健常者を対象に計測を行う。
5. 得られたデータから年齢層別、あるいは性別ごとの標準指標作成を試みる。
6. 脳機能障害患者を対象に測定システムを用いて視覚系指標計測し、健常者との違いを探る。
7. 脳機能障害のスクリーニング検査として使用することを前提としたシステムを目指し測定システムを改良する。
8. 測定システムの実用化(商品化)を目指す。
9. 実用化された測定システムとシステムを用いた脳機能障害のスクリーニング検査の普及を目指す。

本研究は、以上の1と2に関して、脳機能障害の視覚系指標を利用した検査手法を提案し、基礎的な測定手法の考案と、その手法を用いて開発した各種機能の精度および測定システムの精度に関する評価を行う。また、この測定システムを用いた被験者実験により、測定システムとしての総合的な評価を行う。

以上より、本研究の目的を以下の3点とする。

- 2 視覚系指標を利用した脳機能障害の検査手法の提案
- 2 基礎的な測定手法の考案
- 2 考察した手法を用いて開発した各種機能の評価と測定システムの総合的な評価

## 第 3 章 従来の関連研究と計測指標の選定

本章では、まず本研究に関連する視覚系指標の計測方法として、視点位置検出および瞳孔径計測に関する従来手法について述べる。次いで、視覚系と脳機能障害に関する従来研究について述べ、本研究において計測する指標を検討する。

### 3.1 視点位置検出および瞳孔径計測に関する従来手法

#### 3.1.1 視点位置の検出方法

眼球は図 3.1 に示すように周囲に配置された 3 つの種類の眼筋（上下直筋、内外直筋、上下斜筋）の収縮・弛緩によって回転運動を調整し、任意の方向へ視点位置を移動させることができる。以下では、眼球運動や視点位置を計測する方法を挙げる<sup>[12][13]</sup>。

##### 2 EOG 法

角膜と網膜間の定常的電位差を利用し、眼球の上下左右の顔面皮膚上に固定した電極により電位差を測定して、眼球の方向を測定する方法である。

##### 2 強膜反射法

角膜（黒目）と強膜（白目）の光学的反射特性の違いを利用して、微弱な赤外光を目に照射しその反射光の強度の違いにより眼球の方向を測定する方法である。

##### 2 角膜反射法

角膜に点光源から赤外光を照射すると、眼球の回転に従って角膜表面での反射像

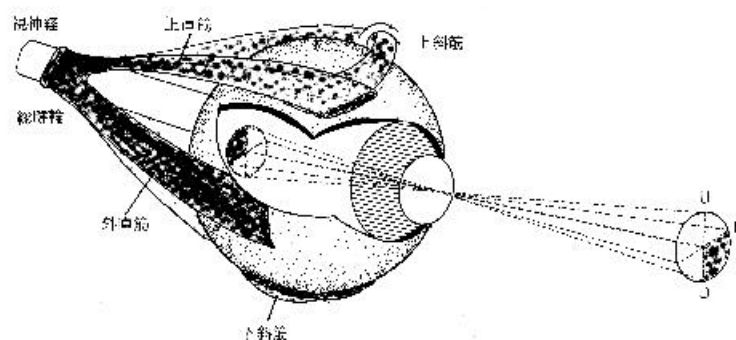


図 3.1: 眼球と眼筋

が移動する。角膜反射法は、点光源の角膜表面での反射光を計測して眼球の方向を測定する方法である。「アイカメラ」として一般的に知られている。

#### 2 瞳孔 - 角膜反射法

上記の角膜反射法のように角膜表面で反射する点光源の反射像の位置計測とともに、瞳孔の中心位置を計測し、眼球の回転により生じる両者の相対位置関係の変化を測定して、眼球の方向を測定する方法である。

#### 2 CCD カメラ法

CCD カメラにより撮像された瞳孔像から瞳孔中心位置を計測して、眼球の方向を測定する方法である。

#### 2 サーチコイル(コンタクトレンズ) 法

コイルを埋め込んだコンタクトレンズを装着し、眼球周辺に配置したコイルとの電磁誘導により眼球の方向を測定する方法である。

#### 2 ダブルプリキニエ法

赤外線(point source)の角膜表面での反射像(第一プリキニエ像)と水晶体裏側での反射像(第四プリキニエ像)の移動量の変化から眼球運動を検出する方法である。

以上に説明した各種の眼球運動測定方法の特長と欠点の比較を表 3.1、時間分解能と空間分解能の比較を表 3.2 に示す。

### 3.1.2 瞳孔径計測方法

瞳孔は、虹彩の裏に配置された円形の平滑筋である瞳孔括約筋の収縮・弛緩、および、同じく虹彩の裏面に放射状に配置された瞳孔散大筋の収縮・弛緩により、散瞳・縮瞳する。以下に瞳孔径を計測する代表的な方法を挙げる<sup>[14]</sup>。

#### 2 写真による瞳孔径の測定法

写真や映像によって瞳孔画像をとり、撮影後にそれらのフィルムを用いて瞳孔径を計測する方法である。

#### 2 前眼部からの反射光の光電変換による瞳孔測定法

眼へ照射された光の反射量は、強膜、虹彩、瞳孔の順に小さく、瞳孔からの反射光量が最も小さい。瞳孔が収縮すると虹彩の面積が大きくなるので、眼から反射

表 3.1: 眼球運動測定方法の特徴と欠点の比較

検出方法	特長	欠点
EOG 法	皮膚電極と生体アンプだけで測定可 周波数帯域が広い、睡眠時の測定可	周囲環境の電磁ノイズの影響が大きく、位置の精度があまりよくない。 ドリフトがある。
強膜反射法	構造が簡単で軽量、周波数帯域広い 高精度、フィールド測定可	垂直精度が水平精度より悪い。周囲の赤外光の影響に注意が必要。 (夕日、白熱照明)
角膜反射法	構造が簡単でセッティングが容易、 周波数帯域が広い、瞳孔同時測定 フィールド測定可	装着に注意 (0.1mm のずれで 0.1 °の誤差) が必要。 出力は 2-3 <sup>-</sup> eld 遅延し、 両眼測定は難易度が飛躍的に上昇する。
瞳孔 - 角膜反射法	センサーの装着ずれの影響小、 瞳孔径測定、非装着のリモートカメラ による測定可	使用素子に依存するが、分解能はよくない。 両眼測定は規模が大きくなる。出力は 2-3 <sup>-</sup> eld 遅延する。
CCD カメラ法	瞳孔同時測定可能、 構造が簡単でセッティングが容易	構造体が大きくなり、 装着者に負担がかかる。
サーチコイル法	超高精度、周波数帯域が広い、torsion の同時測定可	コンタクトレンズの異物感、装着時間が絶対に制限される。 バイトボードが必須
ダブルプリキニエ法	超高精度、周波数帯域が広い、 調節の同時測定可、 静止網膜像の実験実績がある	測定には習熟度が必要、 バイトボードが必須

表 3.2: 眼球運動測定方法の時間分解能と空間分解能の比較

検出方法	Max Sampling(Hz)	空間分解能
強膜反射法	30 ~ 1200	10 ~ 13bit で量子化 0.05 ° × 0.05 °
角膜反射法	30 ~ 600	0.005 ° 0.17 ° × 0.17 °
瞳孔 - 角膜反射法	60 ~ 120	0.1 ° × 0.1 °
CCD 法	30 ~	0.1 °
サーチコイル法	200	1min. 以下
ダブルプリキニエ法	300	0.16 ° × 0.16 °

する反射光量は最も大きくなる。すなわち、眼前部からの反射光量の大きさは瞳孔の大きさの変化に応じて変化する。したがって、眼に光を照射し、その光が反射する方向に光電変換素子を配置すると、この光電変換素子によって瞳孔面積に比例した電気出力を得ることができる。

## 2 光走査による瞳孔運動の測定法

前眼部に赤外光を上から下へ順に右眼方向から左眼方向に走査し、この走査した光が眼から反射したものを光電子増倍管で受ける。光電子増倍管は光が走査した部位の瞳孔の幅に比例した短形波を出力するため、一垂直走査のうちの最大電圧が瞳孔の直径に相当する。

## 2 CCD カメラによる瞳孔運動の測定法

光走査による方式を、CCD カメラを用いた方式に替え、瞳孔部を走査した走査線の本数を計数する方法によって、直径を計測するデジタル型の瞳孔測定手法である。

本研究で使用する ES-HMD は、赤外線 CCD カメラを用いて両眼を個別に撮影する。そのため、視点位置および瞳孔径の計測には、基本的に前述の CCD カメラによる方法を用いる。本研究の目的である脳機能障害のスクリーニング検査を考慮すると、

- 2 測定そのものが簡便であり、特別の技能を必要としないこと
- 2 被計測者にとって負担にならないこと



2 時間分解能、空間分解能が十分に高いこと

2 測定後に測定結果が短時間で得られること

が必要条件となる。CCD カメラによる方法は上記の条件を満たしており、脳機能障害のスクリーニング検査に適した方法である。

## 3.2 脳機能障害と視覚系に関する従来研究

2.3 節で述べたように、ES-HMD を用いた脳機能障害のスクリーニング検査の実用化を目指す第一段階として、脳機能障害と視覚系との関連性について過去の研究事例を調査した。以下にその事例を挙げる。

2 アルツハイマー症と対フラッシュ光縮瞳反射<sup>[15]</sup>

この研究では、アルツハイマー型痴呆患者、脳血管性痴呆患者、健常者に対して、フラッシュ光を目に照射した時の瞳孔径変化を計測し、その変化を比較している。フラッシュ光が目照射されれば、対光反応により瞳孔は収縮し、その後散瞳する。アルツハイマー症患者が、健常者とは異なる瞳孔径の変化を示す生理学知見をもとに、具体的にアルツハイマー症患者の対光反射特性を特徴づけるためにどのようなパラメータを用いることが有効かを被験者実験を通して検討している。その結果、フラッシュ光での対光反射に、主に最大縮瞳率と散瞳時間、散瞳速度など散瞳相に関連するパラメータが、アルツハイマー症患者の診断に有効なことを見出している。

2 アルツハイマー症患者が読書をしている間の目の運動の異常<sup>[16]</sup>

アルツハイマー症患者は、読書中の目の運動に異常が見られる。アルツハイマー症患者と健常者の読書中の目の動きを記録し、両者を比較して、読書能力を検査した。その結果、アルツハイマー症患者は、文字、単語を認識し、難易度が普通程度の内容を理解することができた。アルツハイマー症患者は読書からの理解力があるにもかかわらず、読書している時の目の動きはゆっくりで一定ではなかった。健常者と比べて、アルツハイマー症患者はサッケード運動をする時間に相違が見られた。特に、アルツハイマー症患者は、健常者よりも注視時間が長く、より先々を読むことでサッケード運動をする割合が多く、またサッケードをやめる割合も多く見られた。また、読む内容の難易度が上がると、アルツハイマー症患者には痴呆の度合いと目がサッケード運動する割合に相関関係がみられた。

## 2 アルツハイマー症患者における注視と目のサッケード運動の変化<sup>[17]</sup>

アルツハイマー症患者と健常者に対して注視とサッケード運動に関する実験を9ヶ月ごとに行った。注視の持続時間とサッケード運動が出現する回数が計測されたが、その結果、アルツハイマー症の人でも健常者も、注視の計測より追従運動の計測時の方がサッケード運動が現れやすかった。アルツハイマー症の患者は、注視の時と追従運動の時の、いずれの時も、サッケード運動の開始時に遅延が多く見られた。また、アルツハイマー症患者は、計測時の注視の持続時間と計測時に常に行ってきたMMSEテスト（アルツハイマー症の診断に使われている質問、応答形式の検査方法）の得点との間に相関関係が見られたが、計測時のサッケード運動の出現回数と計測時のMMSEテストの得点との間に相関関係は見られなかった。つまり、注視の持続時間は、計測時のアルツハイマー症の症状の度合いと何らかの相関関係があると結論づけている。

## 2 精神分裂病と注意欠陥の人の目の追従運動<sup>[18]</sup>

精神分裂病患者は、目の追従運動時においてその追従特性に異常が見られる。これらの欠陥には、注意欠陥や抑制欠陥がその背景にあると精神分裂病に関する精神病理学では説明されている。そこで、この研究では、ADHD患者、精神分裂病患者、健常者の人達に毎秒16.7度の一定の速さで動いている視標を見てもらい、その間の目の追従運動を記録している。実験の結果、「目の追従運動ができていたのか」、「先々を予測した頻度」、「急に視線を飛ばすサッケード運動をしたのか」という評価において、精神分裂病患者は、ADHD患者や健常者に比べて目の追従運動ができておらず、また、先々を予想した頻度や急に視線を飛ばすサッケード運動をしていないという結果が得られた。しかし、健常者とADHDの人とでは、これらの変化指標に全く違いは見られなかったと報告している。

## 2 精神分裂病とADHDの子供における絵に対する探索的な目の動き<sup>[19]</sup>

この研究では、精神分裂病やADHD、健常な子供達の絵に対する探索的な目の動きを調査している。それぞれの絵に対して、子供達は3つの質問を出され、その間の関連性のある範囲と関連性のない範囲を凝視して見るのに使った時間や凝視の持続時間と、視点の移動距離が計測された。分析の結果、質問をされた時、ADHDの子供達は健常な子供達より凝視時間が短くなるになる傾向を示した。また、精神分裂病の子供達は、関連性のある範囲、関連性のない範囲を健常な子供達より短い時間しか見ていなかった。精神分裂病の子供達は、視覚注意のより低いレベ

ル、例えば目の動きの基本的な制御は、損なわれてはいなかったが、自分でしようとする行動を行う時、意志的な注意という表だった制御は困難であったと報告している。

2 精神分裂病の子供、ADHDの子供、健常な子供における瞬きをする割合の比較<sup>[20]</sup>

この研究では、精神分裂病の子供を対象に目の追従運動をしている最中の瞬きをする割合についての調査がなされ、比較対象として、薬物治療をしているかいないかの比較、それと同年代の健常な子供達と薬物治療していないADHDの子供達との比較を行っている。青年期や大人の精神分裂病患者にも見られる結果と同様に、精神分裂病の子供達は、健常な子供達やADHDの子供達と比較すると、瞬きする割合がかなり多かった。精神分裂病の子供達の薬物摂取の有無に関する比較では、薬物治療を施されている状態における瞬きする割合は、薬物治療を施されていない状態におけるその割合とそれほど変わらず、臨床上的の変数と関連づけられなかったものもあった。また、健常な子供達では、瞬きする割合が目の追従運動における質の低下と明確な相関関係があったことも報告している。

2 精神分裂病の子供達における目の追従運動<sup>[21]</sup>

精神分裂病の大人達は、目の追従運動時においてその追従特性に異常が見られる、とよくいわれている。そこで、この研究では、精神分裂病の初期形態の時期において連続する目の動きに機能障害があるのかどうかを決定づけるために、精神分裂病の子供達の目の追従運動を調べ、健常な子供、ADHDの子供と比較した。その結果、精神分裂病の子供達は、健常な子供達、ADHDの子供達のどちらよりもずっと多くの追従障害を示した。したがって、精神分裂病の大人に見られる追従の異常性は、精神分裂病の子供の時から形成されていると結論づけている。

2 注意テストの中でのADHDの子供達の視覚動作<sup>[22]</sup>

この研究の目的は、ADHDの子供達が目をすぐどこか違うところに向けてしまう動作が、彼らのテストの成績を下げる要因になっているのかについて調査することであった。ADHDの子供達と健常な子供達は、2つの連続動作テスト(CPTs)、つまり通常行われる2種類の異なるターゲット間の間隔を計るテスト(ISI)と通常とは異なるISIを行った。その結果、ADHDの子供達が視線を外す動作は、ADHDの子供達が刺激の動きを予測できない時、ADHDの子供達のテストの成績に正確さの面でマイナスの影響が出たが、それは、ADHDの子供達の反応時間の遅さとは関連していなかった。よって、よく報告されているADHDの子供達の反応の遅

さは、視覚動作によるものではないと結論づけている。

## 2 ADHD の子供達における前頭葉の機能に関連する目の動き方<sup>[23]</sup>

注意欠陥多動性障害 (ADHD) は、前頭葉前部の皮質の機能障害と関係があるのではないかという仮説が立てられてきている。前頭葉前部の皮質に結びつく3つの機能、つまり、

1. 応答を抑制するための能力 (時間を遅らせる)
2. 運動の応答準備 (逆に視線を移そうという待ち時間に結びつく)
3. 空間視覚に関する記憶を働かせる正確さ (記憶を頼りにした目のサッケード運動の正確さ) についてのテスト

が、ADHD の子供達と健常な子供達に対して行われた。その結果、ADHD の子供達は、健常な子供達に比べて、時間を遅らせた応答を抑制することに障害が見られたが、待ち時間 (運動の応答準備) あるいは空間視覚に関する記憶の正確さには違いは見られなかった。この結果から、ADHD における主要な障害は応答の抑制障害であると結論づけている。

## 2 自閉症児の眼球運動<sup>[14]</sup>

自閉症は、何らかの中枢神経系の異常に起因する、広汎な発達障害とされている。この研究の中で、自閉症児にターゲットが正弦波の動きをする映像を見せ、その時のターゲットを追従する様子を計測する実験を行っている。その結果、自閉症児はターゲットの運動に遅れて追従視する傾向が見られ、階段状の波形が多く観察された。また、注視についての実験も行われ、その結果、自閉症児は、きわめて注視時間が短いと報告されている。だが、その一方で、中には注視できた自閉症児もあり、自閉症児は、興味のある、あるいは快の視覚情報については注視するが、興味のないものにはほとんど注視しなくなるという結論に達している。

これらの従来研究を基に、計測が簡便で脳機能障害の早期診断に役立つと考えられる視覚系指標を以下に示す。

- 2 対光反応時の瞳孔径の変化
- 2 注視の持続時間
- 2 ターゲットを目で追った時の眼球運動

### 3.3 計測指標の選定

3.2 節で挙げた、脳機能障害と視覚系に関する過去の研究事例から、脳機能障害を診断する上で有効で、かつ ES-HMD を用いて計測が可能な視覚系指標を検討した。以下に、本研究で計測する視覚系指標について述べる。

#### 1. 対光反応時における瞳孔径の計測

アルツハイマー症と健常者とでは、対光反応時における瞳孔径の変化に違いが見られることが分かっている。そこで、ES-HMD を用いて眼に短時間の光刺激を与え、その前後の瞳孔径を計測する。具体的な計測方法については、4.2 節で詳しく述べる。

#### 2. 移動指標追跡時の眼球運動の計測

自閉症患者や精神分裂病の人と健常者とでは、移動指標追跡時の視点の動きに違いが見られることが分かっている。そこで、ES-HMD を用いて、ターゲット(視標)が移動する映像を提示し、それと同時に、その間の視点位置を計測する。具体的な計測方法については、4.4 節で述べる。なお、眼球運動には次の5種類の運動がある<sup>[13][24]</sup>。

##### (a) サッケード運動 (saccadic movement)

これは、注視点の移動の際最もよく見られる眼球運動で、他のどの運動よりも高速な運動である。

##### (b) 追従運動 (pursuit movement, smooth pursuit)

これは、運動対象を注視し、眼で追跡するときに生じる眼球運動である。

##### (c) 補償性眼球運動 (compensatory movement, smooth compensatory)

これは、頭部を回した時にある対象物に注視を保つために頭の動きに協調して眼球が反対方向に動く運動である。

##### (d) 反動性の補償性眼球運動 (nystagmus)

これは、ニスタグムス (nystagmus)、もしくは、眼振と言われ、緩慢な水平の掃引と最初の眼球位置への速やかな復帰から成ることが多い眼の振動である。

(e) 輻輳、開散時の眼球運動

物を見るとき、いつも両目とも見る物にそれぞれ視線を合わせている。近くの物を見る、つまり視線を内側に向ける運動を輻輳と言い、遠くの物を見る、つまり、視線を外に向ける運動を開散と言う。

本研究では、移動指標追跡時の眼球運動として、追従運動を基準にした計測を行う。

3. 一点注視指示時の眼球運動の計測

自閉症の子供は、興味のない物にはほとんど注視しなくなる。アルツハイマー症の人は、症状の度合いと注視時間の計測結果との間に相関関係がみられると報告されている。また、ADHDの子供は抑制がきかず、すぐに注意をそらしてしまう。以上をもとに、ES-HMDを用いて静止したターゲット(視標)を提示し、そのターゲットを注視するよう指示を与えた時の視点位置を計測する。具体的な計測方法については、4.7.2項で述べる。

## 第 4 章 Eye-Sensing HMD による視覚特性計測機能の開発

本章では、まず本研究で使用する Eye-Sensing HMD(以下、ES-HMD と略す)の概要について述べる。次いで、本研究で開発した瞳孔対光反応測定システム、追従運動測定システム、一点注視測定システムの概要を述べる。そして、開発した各システムの評価実験と実験で得られた結果とその考察について述べる。

### 4.1 Eye-Sensing HMD の仕様

ここでは、本研究で使用した ES-HMD の仕様について述べる。ES-HMD は、昨年までに本研究室で独自に開発されてきたものである。ES-HMD は、小型液晶ディスプレイからなる映像表示系、眼球を照射するための赤外線 LED と撮像用の赤外線 CCD カメラからなる眼球撮像系、眼球像の二値化処理装置と瞳孔の輪郭を抽出する撮像信号処理系で構成されている。図 4.1 に ES-HMD の外観を示す。

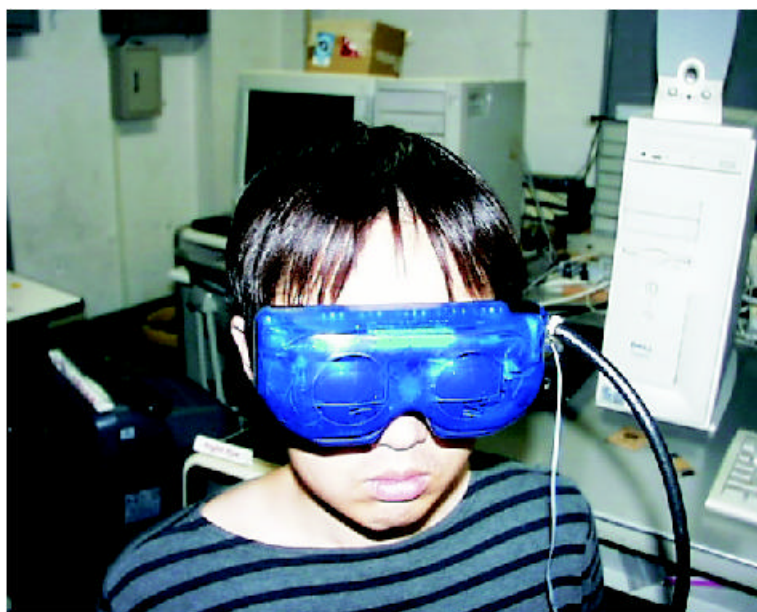


図 4.1: ES-HMD の外観

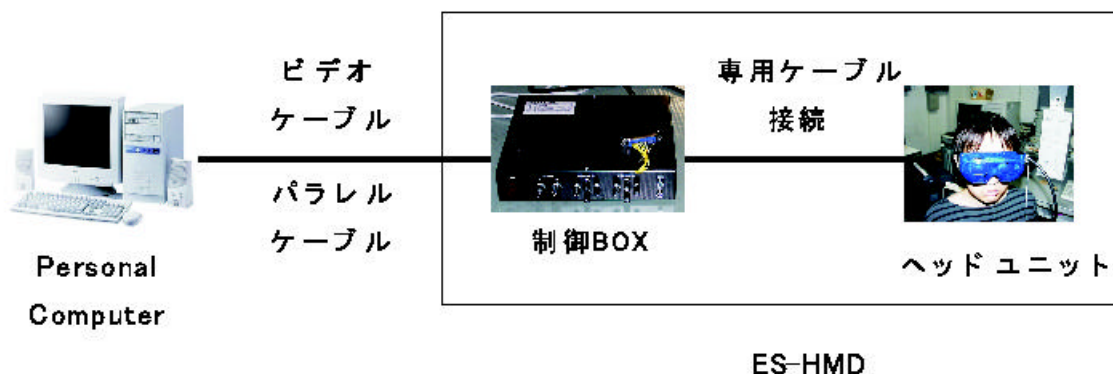


図 4.2: ES-HMD の全体構成図

表 4.1: ES-HMD のヘッドユニットの仕様

ヘッドユニットの重量	230g
シースルー機能	なし
頭部への装着方法	眼鏡型

#### 4.1.1 全体構成

ES-HMD は頭部に装着するヘッドユニットとその制御 BOX から構成されており、この ES-HMD と各種計測処理を行うコンピュータ (Windows PC、以下 PC) を含めた全体構成を図 4.2 に示す。ES-HMD のヘッドユニットと制御 BOX の外観を図 4.3 に示す。ES-HMD は、ES-HMD 本体と PC とを汎用のビデオケーブルとパラレルケーブルで接続し、PC に搭載されるソフトウェアにより ES-HMD を制御し動作させることができる。ES-HMD の各ブロックの入出力関係を図 4.4 に示す。

#### 4.1.2 ヘッドユニット

ヘッドユニットは、ES-HMD のうち頭部に装着する部分であり、映像表示系と眼球撮像系が搭載されている。装着者は、ヘッドユニットを眼鏡のように装着して、ヘッドユニット内の映像表示画面に提示される映像を見ることができる。ES-HMD のヘッドユニットの構成図を図 4.5 に、ES-HMD のヘッドユニットの仕様を表 4.1 に示す。



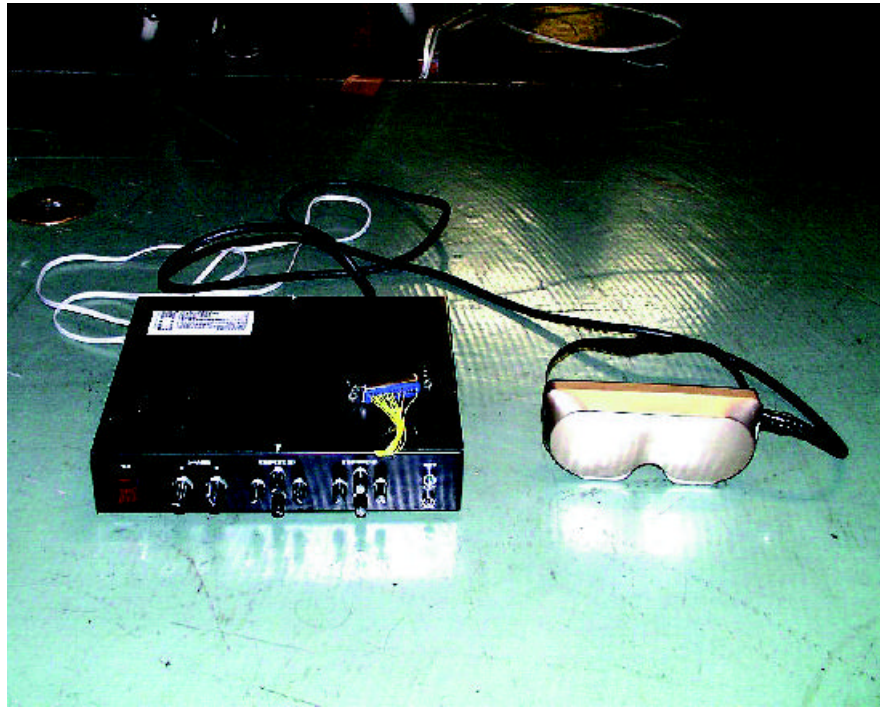


図 4.3: ES-HMD のヘッドユニットと制御BOXの外観

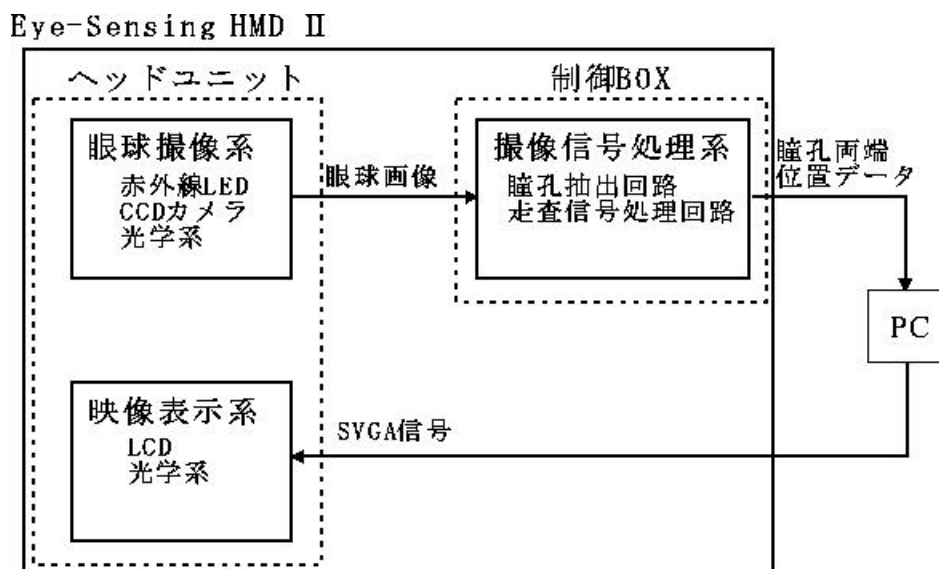


図 4.4: ES-HMD の各ブロックの入出力関係図

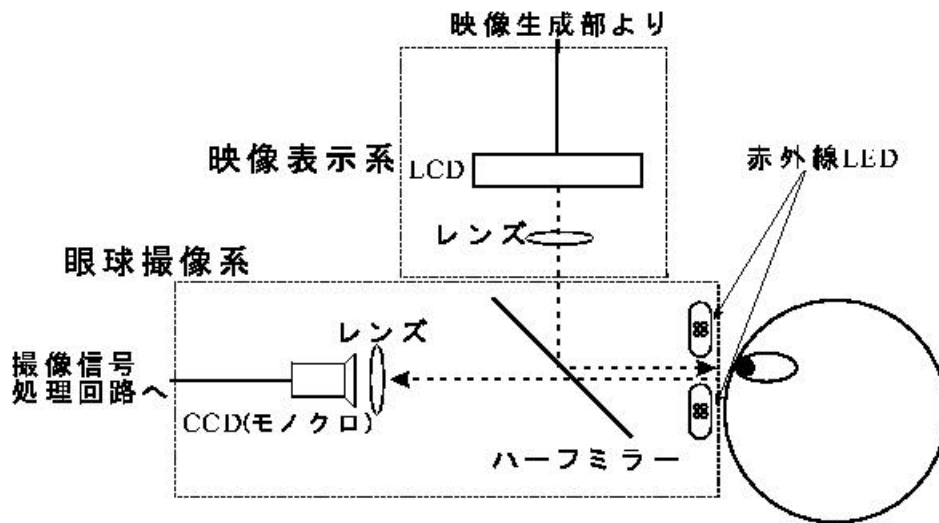


図 4.5: ES-HMD のヘッドユニットの構成図

表 4.2: 映像表示系の仕様

表示装置	超小型カラー LCD
視野角	水平 30 deg £ 垂直 20 deg
虚像位置	1 m
表示画面の解像度	水平 800dots £ 垂直 600dots
映像信号	SVGA

### 4.1.3 映像表示系

映像表示系は、ES-HMD から装着者へ映像を提示する機能である。本研究で使用した ES-HMD の表示装置は両眼用に小型液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display、以下、LCD) が左右各 1 つずつ配置されており、視差のある映像を提示すれば立体視することも可能である。ES-HMD で提示される映像の視野角は、水平方向が 30deg、垂直方向が 20deg である。なお、映像提示系へ入力する映像信号は、SVGA 信号である。

### 4.1.4 眼球撮像系

眼球撮像系は、ヘッドユニットに取り付けられている赤外線 LED によって眼球を照明し、眼球の映像を赤外線 CCD カメラで撮像するものである。実際に撮像された眼球画像の一例を図 4.6 に示す。人間の網膜は赤外光に対して感受性がないため、映像表示

装置のLCDから提示される映像に影響を与えず、赤外線 CCD カメラにより眼球像を撮像することができる。本研究で用いた ES-HMD の赤外線 CCD カメラの仕様を表 4.3 に示す。

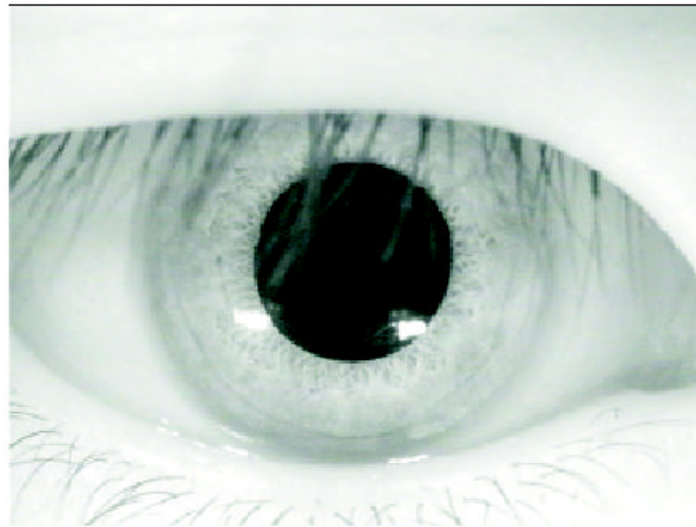


図 4.6: ES-HMD により撮像された眼球画像の一例

表 4.3 に示した CCD カメラの仕様のうち有効撮像領域、分解能、走査周波数およびレンズの焦点距離により、ES-HMD で計測できる視覚系指標の時間分解能や空間分解能が決定される。

#### 4.1.5 撮像信号処理系

撮像信号処理系は、眼球撮像系で得られた眼球画像を二値化して瞳孔部分を抽出し、その瞳孔の形状に関する情報を算出する。

撮像信号処理系の構成を図 4.7 に示し、赤外線 CCD カメラで撮影された眼球画像の一例を図 4.6 に示す。瞳孔部分は赤外線反射率が低く、その他の虹彩、強膜（白目部分）、眼瞼、皮膚表面の部分は赤外線反射率が高いために、図 4.6 では瞳孔部分のみが暗く撮影されている。そこで、瞳孔抽出ブロックでは、眼球撮像系で撮影された眼球画像を適当な閾値で二値化し、瞳孔部分のみが黒くなった二値化画像を得る。この閾値は制御 BOX にあるつまみにより調整することができる。

次に有効領域設定ブロックで、映像中に映り込む眼球周辺の影を排除するために、眼球運動範囲に合わせて CCD カメラの撮像可能領域から信号処理の対象とする有効撮像領域を設定し、瞳孔部分のみが黒く描画された二値化画像を図 4.8 に示すように瞳孔形

表 4.3: ES-HMD の赤外線 CCD カメラの仕様

CCDの有効画素	水平 510 Ǝ 垂直 492
CCDの解像度(水平)	380 TV本
CCDの解像度(垂直)	262.5 TV本
映像出力信号フォーマット	NTSC
走査周波数(水平)	15.734 kHz
走査周波数(垂直)	59.94 Hz
レンズ焦点距離	6.6 mm
レンズ・眼球間距離	22mm
撮像範囲(水平)	24.8mm
撮像範囲(垂直)	18.4mm
位置分解能(水平)	0.0489 mm
位置分解能(垂直)	0.0775 mm

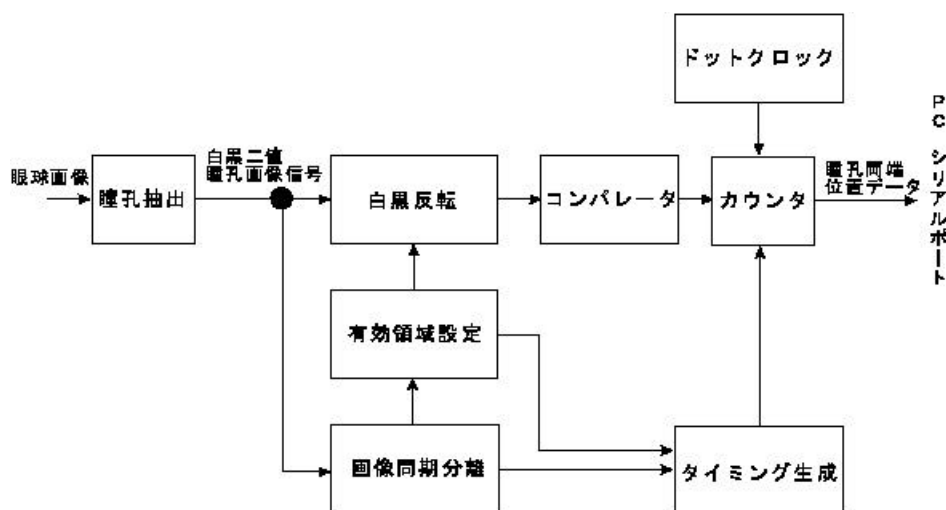


図 4.7: ES-HMD の撮像信号処理系の構成

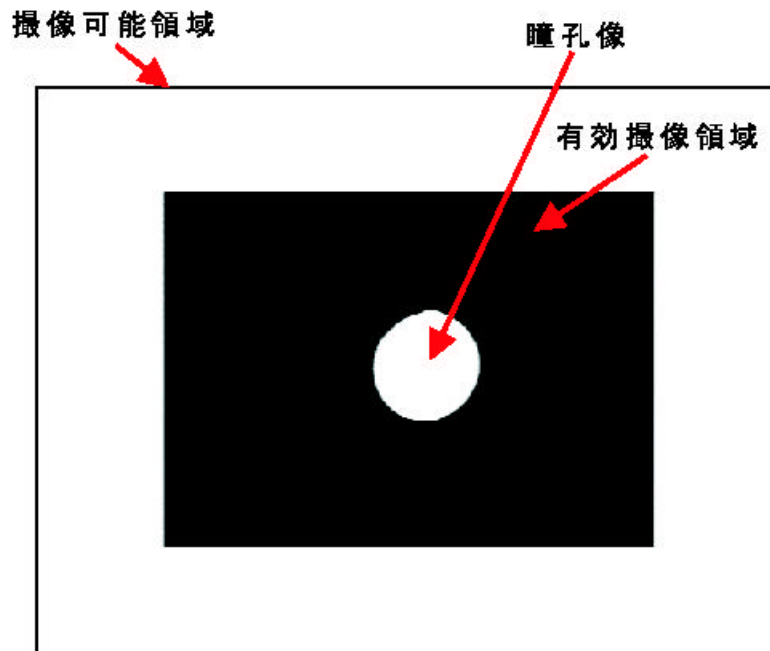


図 4.8: 撮像された瞳孔二値化画像

状の検出が有効である有効撮像領域のみを白黒反転した後、コンパレータブロックで各水平走査線上における瞳孔部分の輪郭（瞳孔端点）を検出する。検出された瞳孔端点は、図 4.9 に示すようにドットクロックとカウンタブロックによりその水平位置が求められ、瞳孔端点の垂直位置は映像の水平・垂直同期信号により別途求められる。このようにして ES-HMD で得た図 4.10 に示すような瞳孔画像における各水平走査線ごとの瞳孔端点位置からなる 1 画面分の瞳孔形状情報が、パラレルケーブルを通して PC に送信される。

#### 時間分解能

ES-HMD における画像処理は、垂直走査ごとに行われている。すなわち、垂直走査周波数が 59.94Hz であるので、最小時間分解能は約 16.68msec となる<sup>[25]</sup>。この時間分解能では、人間の眼球運動のうち高速に視線が移動するサッケード運動を十分な精度で計測するのは困難であるが、本研究で測定する注視点位置、比較的移動速度が遅い追従運動、瞳孔の収縮・散大等は、十分に計測することができる。

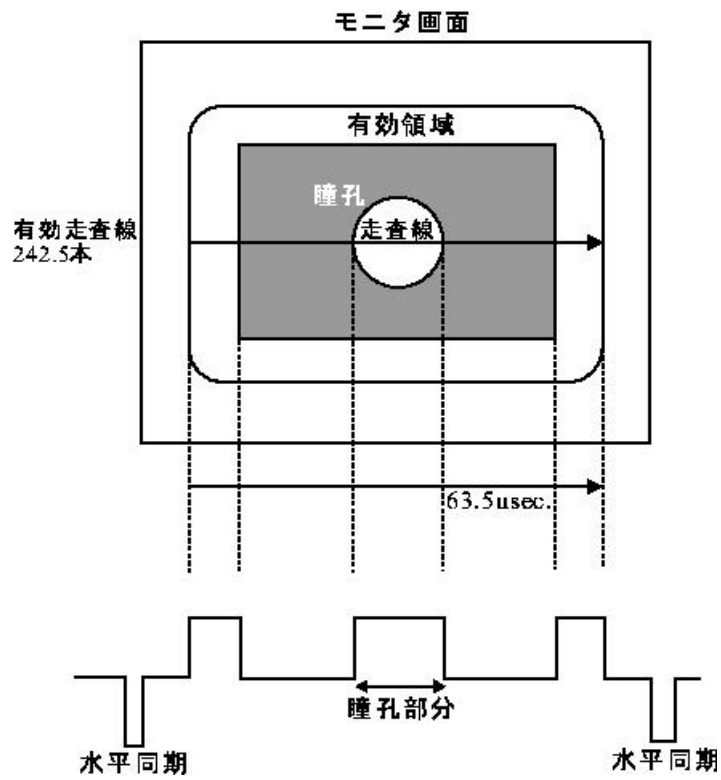


図 4.9: 瞳孔画像と対応するビデオ信号

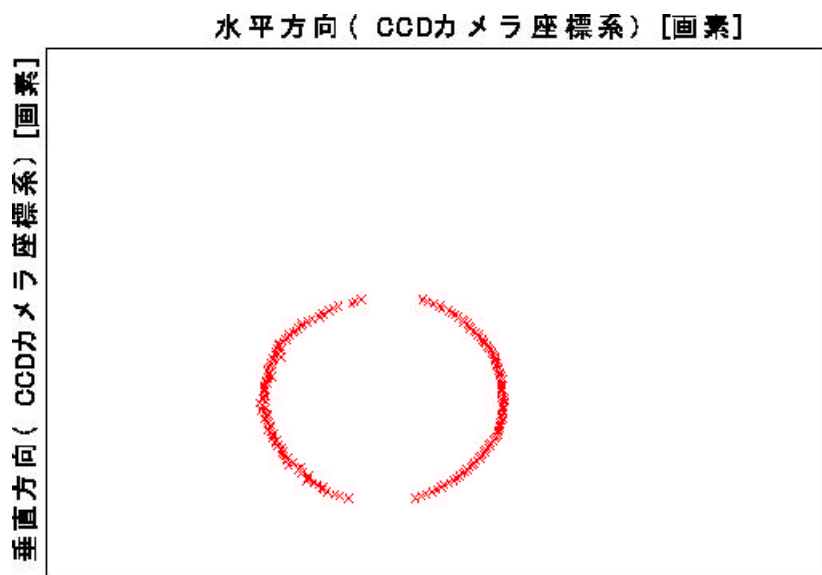


図 4.10: PC に送られる瞳孔形状情報

表 4.4: ES-HMD の空間分解能

空間分解能	値
水平位置分解能	0.0489 mm
垂直位置分解能	0.0775 mm

#### 空間分解能

本研究で使用した ES-HMD の眼球撮像系における空間分解能は昨年度の研究<sup>[25]</sup> より、表 4.4 に示す通りである。

#### 計数単位

図 4.7 のドットクロックブロックは、瞳孔端点位置の計数単位となる。クロック周波数が小さすぎると CCD カメラの分解能を生かせなくなり、大きすぎると高周波ノイズ対策が必要となる。これより、昨年度の研究<sup>[25]</sup> では、ドットクロックを 20MHz としているが、本研究でもこのドットクロックを用いる。このドットクロックから水平方向の計数単位を計算することができ、その値は 0.0235mm/dot である。ここでいう計数単位とは、計測される瞳孔端点位置の 1 ドットあたりの実際の撮像対象の大きさ (mm) である。また、垂直方向の計数単位は、眼球撮像系の垂直分解能に相当し、0.0775mm/dot である<sup>[25]</sup>。昨年度と同じく本研究でも、映像信号処理系から出力される瞳孔輪郭情報 (dot) から実際の瞳孔の大きさ (mm) への変換を行う際の計数単位として上記の値を用いる。

次節からは、上記で述べた ES-HMD を用いて各種の計測を行うために開発した測定システム、およびその評価のために行った実験について述べる。

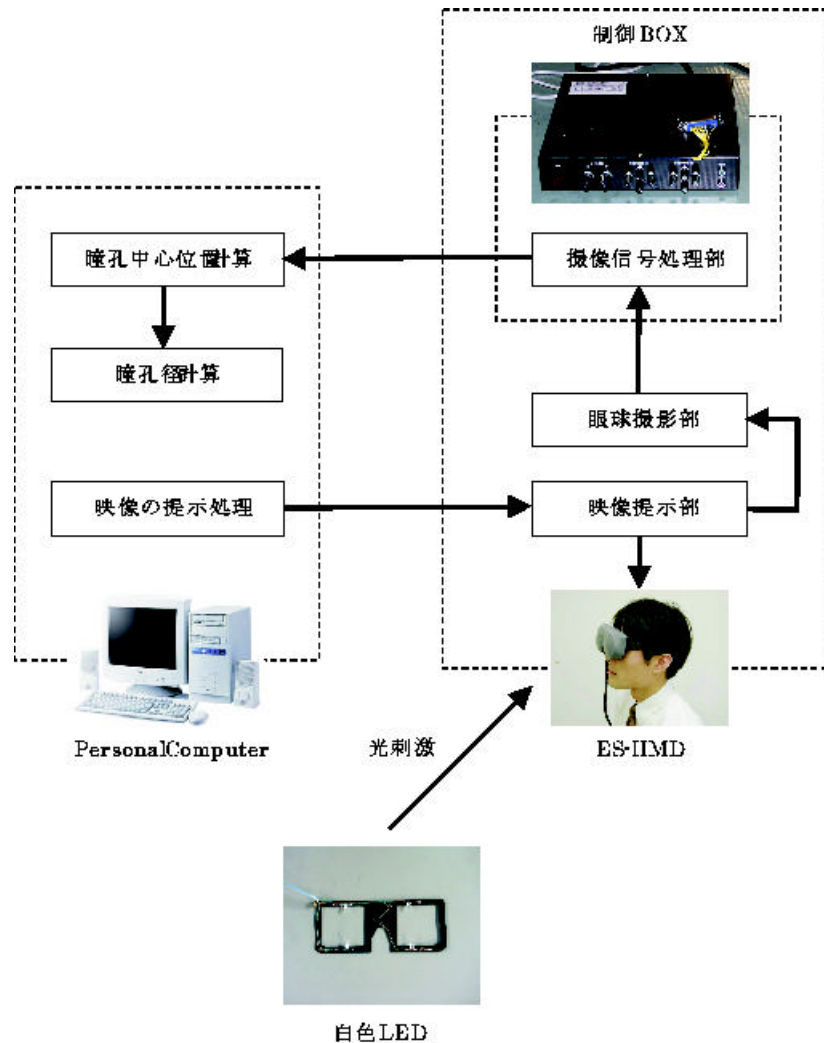


図 4.11: 瞳孔対光反応測定システム構成

## 4.2 瞳孔対光反応測定システムの開発

対光反応時の瞳孔径変化を計測するためには、光刺激提示機能と瞳孔径計測機能が必要である。本研究では、この二つの機能を持つ瞳孔対光反応測定システムを開発した。そのシステム構成を図 4.11 に示す。以下では、本研究で開発した光刺激提示機能と瞳孔径計測機能の原理と各機能の評価実験、これらの機能を併せた瞳孔対光反応測定システムの評価実験について述べる。

### 4.2.1 光刺激提示機能

ES-HMD には両眼に映像を提示するための液晶ディスプレイが配置されており、例えば全面が黒の映像を提示しておき、短時間だけ白い映像を提示すれば眼球に光を照





図 4.12: 作成した光刺激提示装置

射することも可能である。しかし、本研究で使用する ES-HMD では、液晶ディスプレイのコントラスト比が比較的小さく、十分な対光反応を誘発させるだけの光量を照射するのが難しい。そこで、光刺激提示装置として白色 LED を用いることにした。図 4.12 に本研究で作成した光刺激提示装置を示し、その回路図を図 4.13 に示す。図中の 74LS123 は CR を用いたワンショットパルス発生用のロジック IC であり、これに接続された 10k の可変抵抗の抵抗値を調整することにより、光刺激の提示時間を約 50 ~ 200ms の範囲で調整することができる。

具体的には、図 4.14 に示すように、ES-HMD のヘッドユニットに被計測者の眼球に光を照射するための白色 LED を両眼の上下計 4 箇所を設置し、これらを PC のプリンターポートから制御することで、短時間だけ発光させ光刺激を提示する。なお、ES-HMD 装着時の眼球位置における 4 つの白色 LED を同時発光させた時の照度は約 300 ルクスであり、対光反応を誘発するだけの十分な光量が得られている。

この光刺激提示機能を用いて対光反応計測実験を行う際には、光刺激として白色 LED を 100msec だけ発光させる。その理由は、瞳孔対光反応の潜時は、一般に 0.2 ~ 0.3 秒程度であり<sup>[14]</sup>、対光反応により瞳孔が収縮し始める前に発光を終わらせて瞳孔収縮による網膜への光量低下の影響を避けるためである。つまり、潜時の後の瞳孔収縮が始

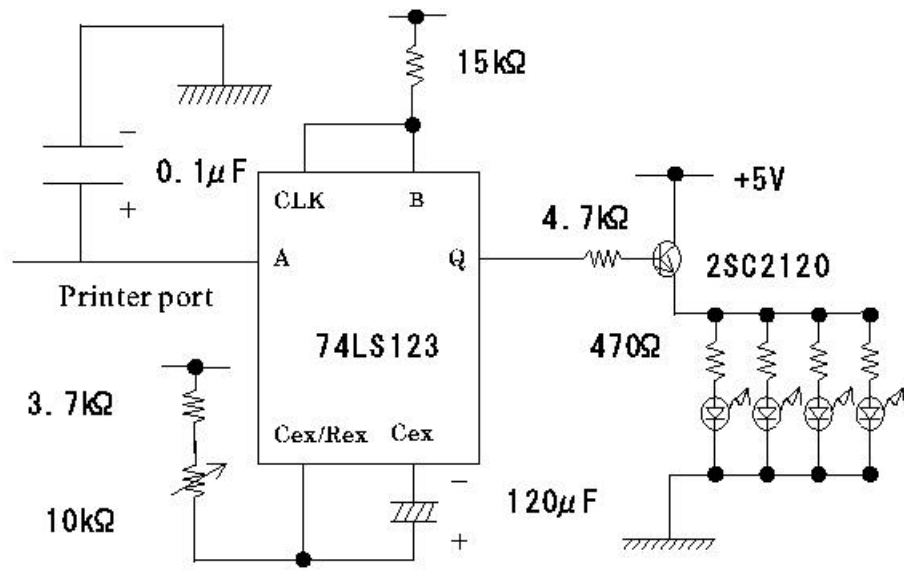


図 4.13: 作成した光刺激提示装置の回路図

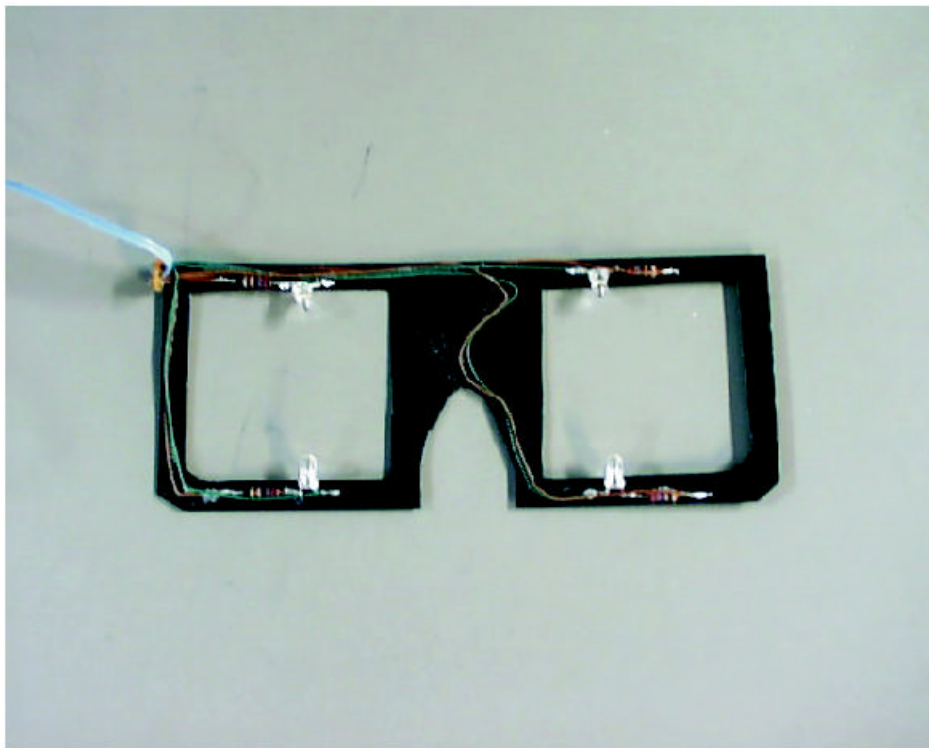


図 4.14: 作成した白色 LED の配置

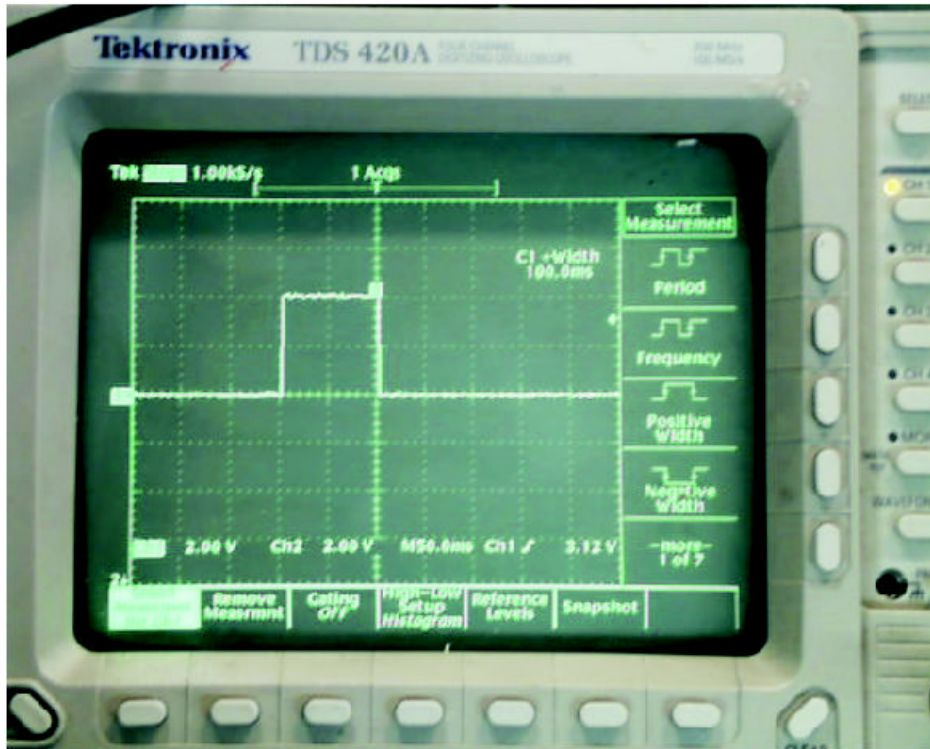


図 4.15: オシロスコープに出力された波形

まっただけから光刺激を与え続けると、瞳孔収縮によって刺激量が低下しているところに光刺激が重畳して、さらに収縮反応に影響するフィードバック効果がかかり、測定値の解釈が困難になるためである。本研究では、図 4.13 に示す光刺激提示装置の回路中の Q にデジタルオシロスコープの電極を接続し、回路中の可変抵抗を調整して、白色 LED に電流が流れる時間が正確に 100msec になるように調整した。図 4.15 は、オシロスコープで観測した電圧の波形である。なお、Q の出力は図 4.13 の回路中のトランジスタ 2SC2120 でスイッチングされた後に、白色 LED を点灯させることになるが、この際の遅れ時間は  $10 \mu\text{sec}$  以下であり、パルス幅に比較して無視できるほど小さい。

光刺激提示装置では、コンデンサに充電した電荷を放電する際の時間によりパルス幅を決めるロジック IC の 74LS123 を用いており、電源電圧の微妙な変化や外部ノイズの影響によりパルス幅が変化する可能性がある。そこで、パルス幅がどの程度安定しているかを測定するため、光刺激提示装置のパルス幅をデジタルオシロスコープにより 20 回計測した。その結果を表 4.5 に示す。結果から、平均パルス幅は 100.3msec であり、その標準偏差は 0.66msec であった。これは、瞳孔対光反応の計測のための光刺激提示として、十分安定して一定時間光刺激を与えていることを示している。

表 4.5: 光の照射時間を 20 回計測した時の平均時間と標準偏差

光の照射平均時間	100.3 msec
照射時間の標準偏差	0.66 msec

#### 4.2.2 瞳孔中心位置と瞳孔径計測手法

ES-HMD の赤外線 CCD カメラで撮像された瞳孔の形状は、ほぼ円形をしている。しかし、撮像信号処理系で二値化された時、赤外線 LED の反射像や眉毛等の影響で、二値化された瞳孔像にノイズが混入している場合がある。本研究で用いる ES-HMD では、撮像信号処理系から PC に瞳孔形状情報として、水平走査時の瞳孔検知開始位置座標と終了位置座標が送られる。撮像された瞳孔像にノイズが混入する場合には、図 4.16 に示すような座標が瞳孔形状データとして PC に収集される。このような場合、データには、ノイズの影響を受けていない撮像された瞳孔の輪郭部分とノイズの影響を受けた部分とが混合していることになる。このノイズの問題を解決するため、昨年度、ES-HMD による瞳孔中心位置検出方法として、CCD カメラによって撮像された瞳孔像にノイズが混入していることを考慮したロバスト性の高い瞳孔中心座標の計算法を開発した<sup>[25]</sup>。本研究では、対光反応時における瞳孔径の変化を計測するため、昨年度の瞳孔中心位置検出方法をもとに、ノイズの影響を極力受けずに瞳孔径を計測する方法を考案した。以下にその方法を示す。

1. 瞳孔の輪郭線上から無作為に 3 点を抽出する。

計数単位によって変換され、瞳孔の二値化画像の輪郭線上の点の中から無作為に 3 点を選び、その座標を  $(x_1; y_1)$ 、 $(x_2; y_2)$ 、 $(x_3; y_3)$  とする。

2. その 3 点から円の中心位置と直径を求める。

選ばれた 3 点から、円の中心位置  $(X; Y)$  を次の式 (4.1)、式 (4.2) により求め、また、選ばれた 3 点のうち的一点  $(x_1; y_1)$  とその円の中心位置  $(X; Y)$  から、直径  $R$  を求める。

$$X = \frac{(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2)(y_2 - y_3) + (y_2^2 - y_3^2 + x_3^2 - x_2^2)(y_1 - y_2)}{2f(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) - (x_3 - x_2)(y_1 - y_2)g} \quad (4.1)$$

$$Y = \frac{(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2)(x_2 - x_3) + (y_2^2 - y_3^2 + x_3^2 - x_2^2)(x_1 - x_2)}{2f(x_3 - x_2)(y_1 - y_2) - (x_2 - x_1)(y_2 - y_3)g} \quad (4.2)$$

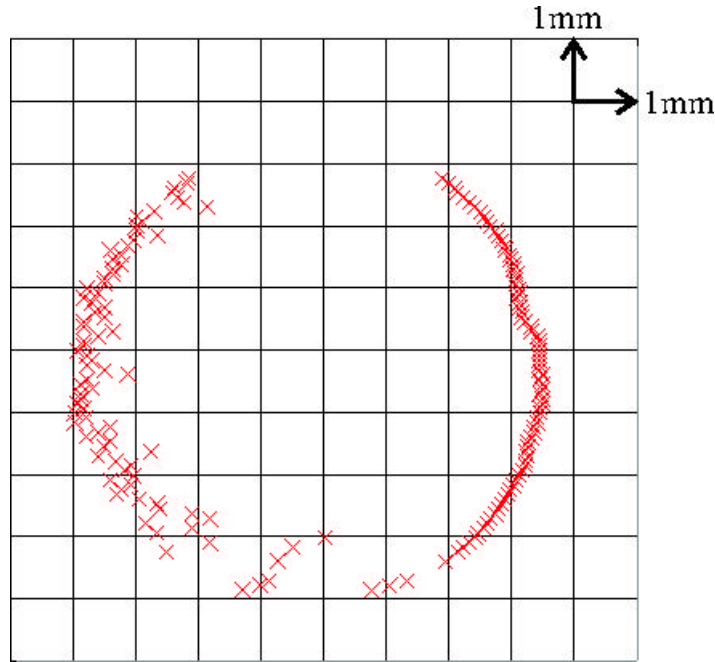


図 4.16: ノイズが混入している瞳孔形状データ

$$R = 2 \sqrt{(X_i - x_1)^2 + (Y_i - y_1)^2} \quad (4.3)$$

3. 1、2の手順、すなわち、無作為に3点抽出し、円の中心位置とその直径を求める計算をn回繰り返して、n個の円の中心座標  $(X_i; Y_i)$ 、直径  $R_i$ 、 $(i = 1; 2; 3; \dots; n)$  を求める。
4. 3で求めたn個の円の中心位置のデータサンプルのうちx座標の大きいデータと小さいデータをそれぞれn=5個ずつ取り除く。
5. 4で残った3n=5個のデータサンプルのうち、今度はy座標の大きいデータと小さいデータをそれぞれn=5個ずつ取り除く。
6. 5までに残ったn=5個のデータサンプルの重心位置を求めて、その重心位置を瞳孔の中心位置とする。
7. 一方、円の直径、つまり瞳孔径を求める方では、円の中心位置を求めた3、4の過程で、3で求めたn個の円の直径のデータサンプルのうち大きい値のデータと小さい値のデータをそれぞれ2n=5個ずつ取り除く。
8. 7で残ったn=5個の円の直径データサンプルを平均して、瞳孔径とする。

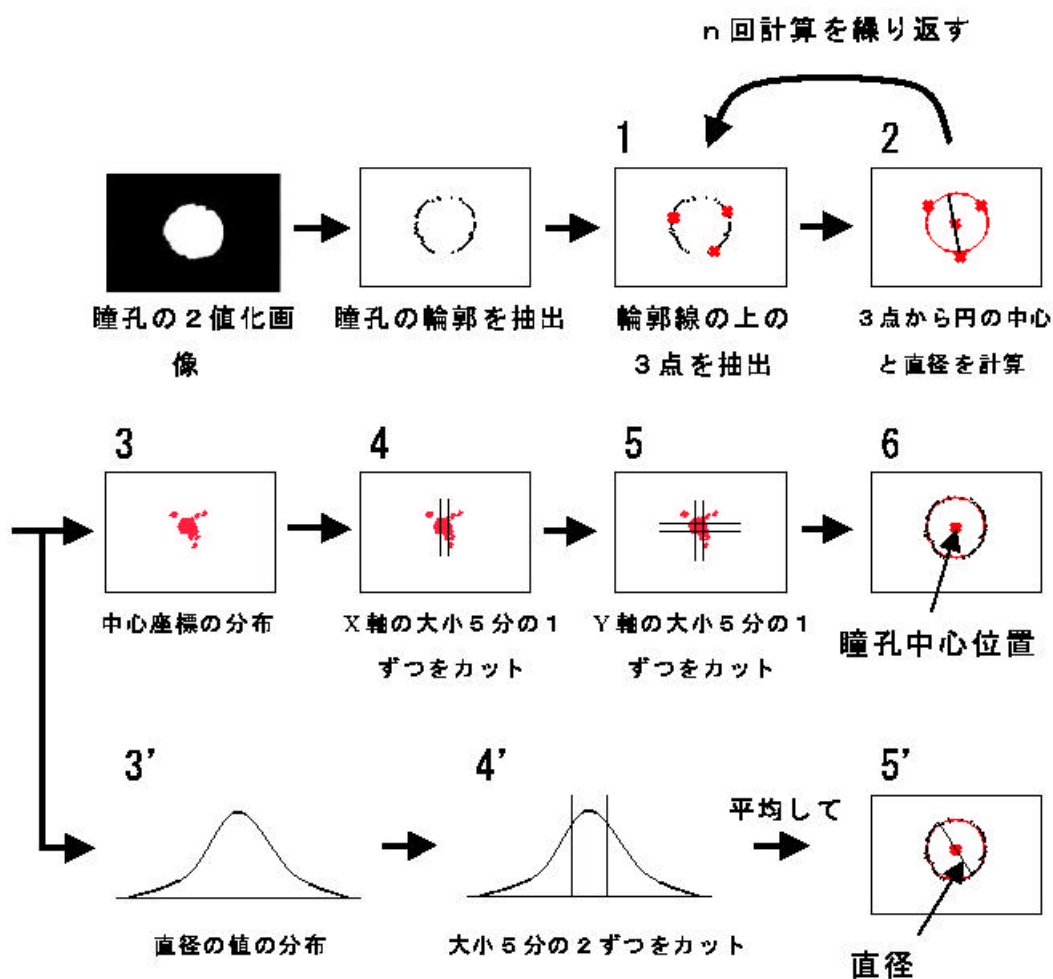


図 4.17: 瞳孔中心位置と瞳孔径算出方法のステップ

以上の瞳孔の中心位置と瞳孔径の各計算ステップの手順の実行例を図 4.17 に示す。

なお、本研究で使用した ES-HMD の CCD カメラの位置分解能の計数単位は、表 4.3 に示すように ES-HMD の設計値の水平分解能が、0.0235mm/dot、垂直分解能が 0.0775mm/dot であるので、これらの値を用いて検出された CCD カメラ座標系から実際の瞳孔の大きさに変換している。

#### 4.2.3 瞳孔径計測の計算回数決定

4.2.2 項で述べた瞳孔中心座標と瞳孔径の計算方法において、瞳孔の輪郭線上の 3 点から円の中心と直径を  $n$  回計算するとしている。このとき  $n$  が大きいほどロバスト性は向上するが、逆に計算時間が長くなり、ロバスト性と計算時間はトレードオフの関係がある。昨年度の研究では、ロバスト性の向上とリアルタイム処理を両立させるた

表 4.6: 各計算回数での1フレームあたりの処理時間

計算回数	1フレームあたりの処理時間
10	17.5 msec
30	17.7 msec
50	17.5 msec
70	17.7 msec
100	17.4 msec
150	17.7 msec

め、瞳孔中心位置を検出する際の最適な  $n$  を決定するための実験を行い、その結果から計算回数  $n$  を 100 とした。本研究では、新たに瞳孔径を計測させる機能を付加したため、瞳孔径を計測する際の最適な計算回数  $n$  を再度求める必要がある。そこで、昨年度に行った実験方法を参考にして、最適な計算回数  $n$  を求めるための実験を行った。以下に、その方法と結果について述べる。

#### 実験方法

4.2.2 項で述べた瞳孔中心座標と瞳孔径の計算方法を用いて、瞳孔径計測の際の計算回数を 10、30、50、70、100、150 回の計 6 つ場合について、それぞれ 200 フレームずつ瞳孔径を計算する。測定の対象は、五円硬貨の穴 (直径 5.0mm) を擬似瞳孔として利用する。この擬似瞳孔を ES-HMD を装着したときに瞳孔がある位置に固定し、各計算回数における瞳孔径と 1 フレームあたりの処理時間を計測する。

#### 実験結果と考察

上記の方法により、各計算回数における 200 フレーム分の瞳孔径と 1 フレームあたりの処理時間を計測した。さらに、各計算回数ごとに瞳孔径計測データの標準偏差を求めれば、瞳孔径計測値のばらつき、つまり瞳孔径の計測安定性を表すことができる。計算回数と瞳孔径計測値の標準偏差の関係を図 4.18 に示し、各計算回数での 1 フレームあたりの処理時間を表 4.6 に示す。

図 4.18 より、計算回数が 10 回から 50 回までは、瞳孔径の計測安定性が向上しており、また計算回数が 50 回から 100 回まででも、緩やかだが瞳孔径の計測安定性が向上している。計算回数が 100 回以上は、瞳孔径の計測安定性にほとんど差はなく、計算回

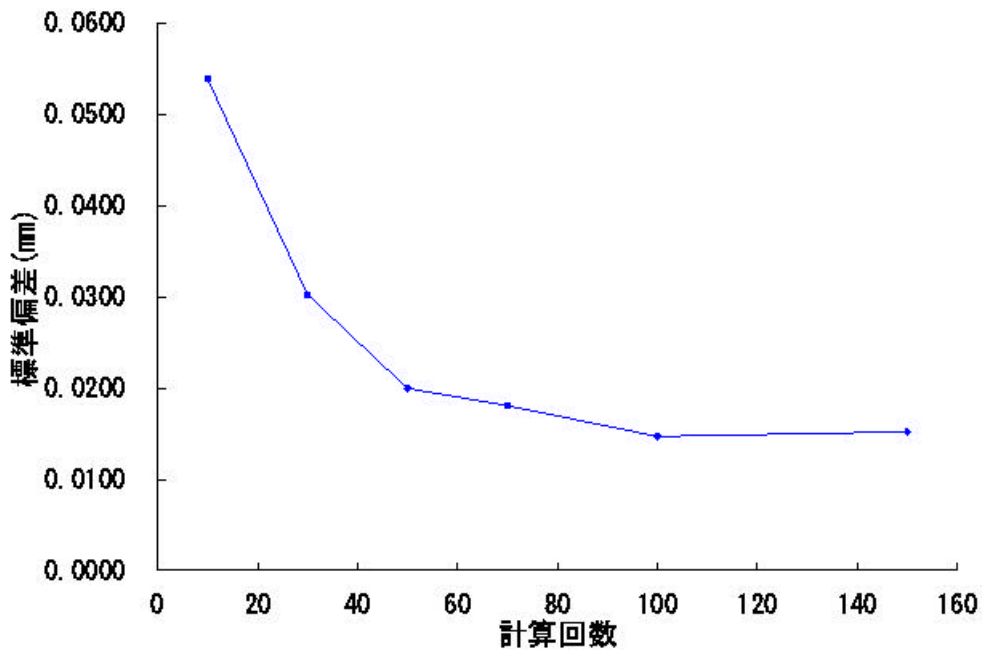


図 4.18: 瞳孔径計測における計算回数と計測値の標準偏差

数が 100 回で計測安定性の限界に達しているものと考えられる。また、表 4.6 から各計算回数での 1 フレームあたりの処理時間にほとんど差がないことが分かった。これは、撮像信号処理系からのデータ転送速度がボトルネックになっているためと思われる。

以上の考察より、本研究では 4.2.2 項で述べた瞳孔径計測の際の計算回数  $n$  を 100 回とすることにした。

#### 4.2.4 瞳孔径計測機能の評価実験

4.2.3 項の実験では、瞳孔径計測の際の安定性と処理速度から計算回数  $n$  を求めた。ここでは、実験により瞳孔径計測機能の精度について評価する。実験の内容は 4.2.3 項と同様であり、五円玉の穴を利用した擬似瞳孔を用いて瞳孔径を計測し、その精度を調べる。以下では、実験の目的、方法、結果と考察について述べる。

##### 実験の目的

本年度新たに開発した ES-HMD の瞳孔径計測機能の計測精度を評価する。



## 実験の方法

瞳孔径計測を行う際には、ES-HMDの眼球撮像系である赤外線 CCD カメラと眼球との距離が瞳孔径の計測値に直接影響する。

4.1.4 項で述べたレンズ・眼球間距離は ES-HMD を設計した際に設定した、眼球と HMD の距離における値であり、必ずしも CCD カメラ座標系と実際の眼球との大きさの関係を示しているものではない。例えば、五円玉の穴を擬似瞳孔として考えると、図 4.19 のように、設定距離よりも遠いところに瞳孔があれば、CCD カメラで撮像する瞳孔は小さく映し出されてしまう。また、逆に図 4.20 のように、設定距離よりも近いところに瞳孔があれば、CCD カメラで撮像する瞳孔は大きく映し出されてしまう。そこで、ES-HMD を装着した時の ES-HMD と人の目との距離をまず計測し、それを代表距離として同じ距離の位置に五円玉を固定して、大きさが既知の五円玉の穴を擬似瞳孔として計測する。

なお、ES-HMD のヘッドユニットとある人の眼球との距離は、図 4.21 のように 10mm であった。これよりヘッドユニットと眼球間の代表距離を 10.0mm として、図 4.22 のように、ES-HMD と人の目との距離と同じ ES-HMD から 10.0mm の距離に五円玉を固定し、直径 5.00mm の五円玉の穴を約 10 秒間、300 フレーム分計測する。

## 実験の結果と考察

実験の結果を表 4.7 に示す。直径 5.00mm の五円玉の穴の計測値が左眼側で 6.14mm、右眼側で 5.95mm であった。これは、左眼、右眼ともに、擬似瞳孔の直径である 5.00mm より約 1mm 大きい値となっており、およそ 20% も誤差がある。一方、この時の計測データの標準偏差は左眼 0.054mm、右眼 0.027mm であり、計測データ自体にあまりばらつきがないことが分かった。これらのことから、今回の実験で瞳孔径を計測する際に混入したノイズの影響により誤差が生じたのではなく、ES-HMD の設計時に設定された CCD カメラと人の目との距離が、実際に人が ES-HMD を装着した時の CCD カメラと人の目との距離よりも遠くに設定されていると考えられる。

なるべく正確に瞳孔径を計測するためには、20% も誤差が出ている瞳孔径計測システムを補正する必要がある。そこで、4.1.5 項で述べた計数単位の設定値（水平方向が 0.0235mm/dot、垂直方向が 0.0775mm/dot）を、それぞれ左眼側で 5.0/6.14 を、右眼側で 5.0/5.95 をかけて補正することにした。

計数単位を補正した後、瞳孔径計測精度の確認のため、同様の方法で擬似瞳孔の直径を約 10 秒間、300 フレーム分、計測した。その結果を表 4.8 に示す。この結果から

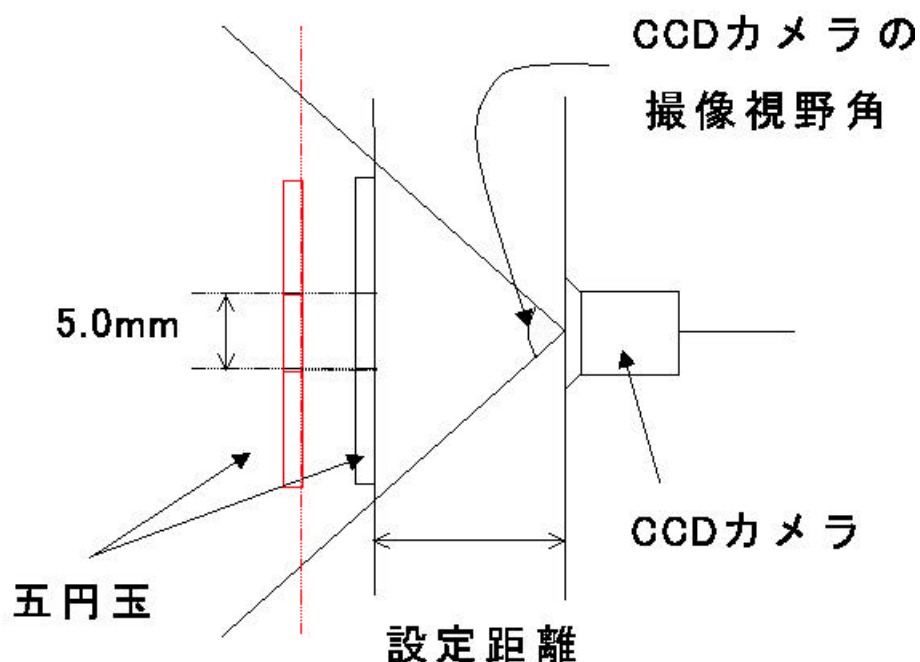


図 4.19: CCDカメラと眼球との設定位置と CCD カメラに映る瞳孔の大きさの関係 (瞳孔が小さくなる場合)

表 4.7: 五円玉の穴の補正前の直径計測値の平均と標準偏差

	左眼側	右眼側
五円玉の内径計測値データの平均値	6.14mm	5.95mm
五円玉の内径計測値データの標準偏差	0.054mm	0.027mm

分かるように、擬似瞳孔での計測誤差は1%未満となり、十分な計測精度が得られている。また、標準偏差は左眼側が0.043mm、右眼側が0.028mmと左眼側の方が大きいですが、両目とも安定して瞳孔径を計測できていることが分かる。ただし、前述のようにES-HMDのヘッドユニットと眼球との距離により撮影される瞳孔像の大きさが異なるため、実際の計測では被計測者の顔面形状等の個人差やヘッドユニットの装着方法により若干の計測誤差が含まれる可能性はある。

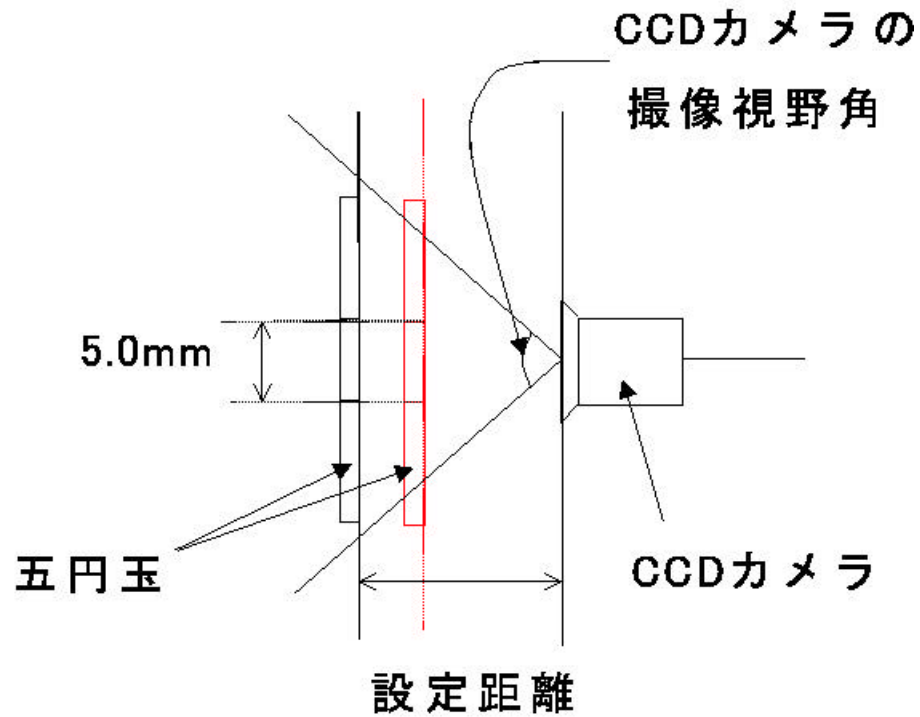


図 4.20: CCD カメラと眼球との設定位置と CCD カメラに映る瞳孔の大きさの関係 (瞳孔が大きくなる場合)

表 4.8: 五円玉の穴の補正後の直径計測値の平均と標準偏差

	左眼側	右眼側
五円玉の内径計測値データの平均値	5.00mm	4.98mm
五円玉の内径計測値データの標準偏差	0.043mm	0.028mm

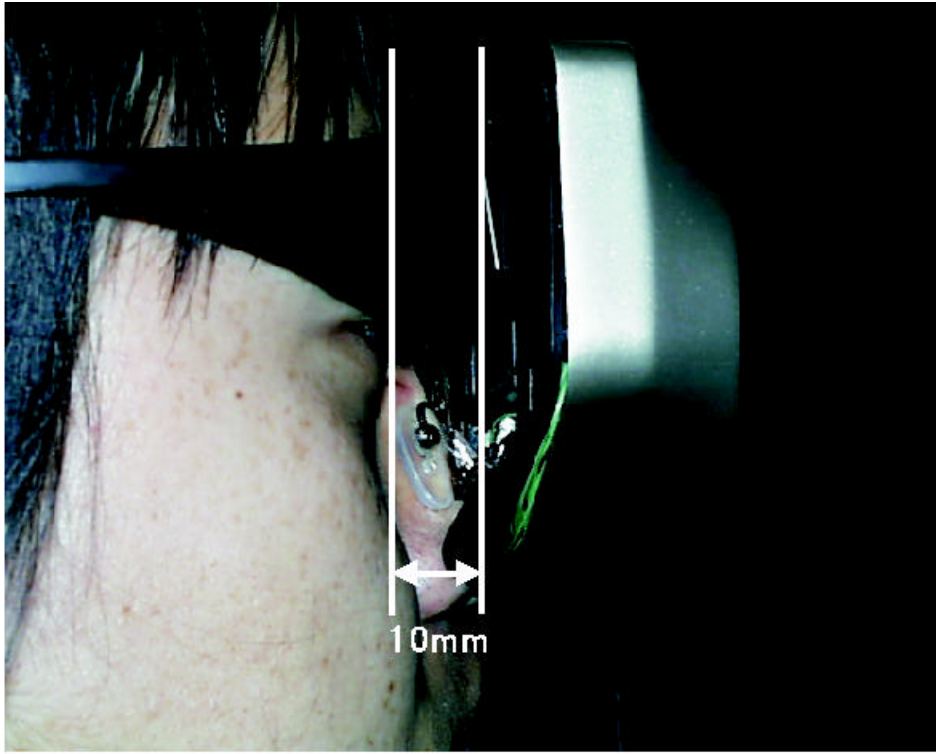


図 4.21: ES-HMD を装着したときの眼球の位置

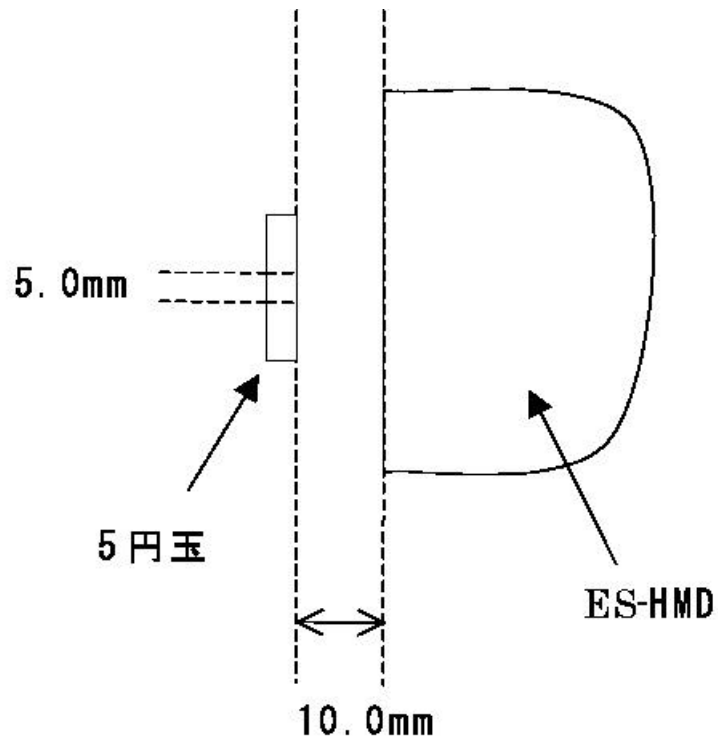


図 4.22: ES-HMD から 10.0mm 離れたところにおかれた五円玉の位置

## 4.3 瞳孔対光反応測定システムの評価実験

4.2.1 項では本研究で開発した光刺激提示機能について述べ、4.2.4 項では本年度開発した ES-HMD の瞳孔径計測機能について評価した。本研究で構築した対光反応測定システムでは、この2つの機能を併せ持つシステムである。そこで、本研究で構築した対光反応測定システムを用いて、被験者に光刺激を与えてその前後の瞳孔径変化を計測する実験を行った。

### 4.3.1 実験の目的

実験の目的は、以下の2点である。

- 2 本研究で構築した対光反応測定システムを用いて、対光反応時における瞳孔径の変化の様子を計測できているかを確認する。
- 2 計測結果として得られた瞳孔径変化から具体的に測定すべき視覚指標の項目を検討する。

### 4.3.2 実験の方法

#### 実験システム

実験システムは、4.2 項で述べたように、本研究で開発した瞳孔対光反応測定システムを用いる。

#### 実験環境

外部からの光を遮断し環境光が約2ルクスの実験室内で計測する。

#### 実験条件

瞳孔対光反応を計測する際の実験条件を以下に示す。

##### 1. 光刺激の提示時間

白色 LED の発光時間は 100msec とする。100msec とする理由は、4.2.1 項で述べた通りである。

## 2. 計測時間帯

被計測者の覚醒度の低下の影響を避けるため、サーカディアンリズム<sup>[26]</sup>における覚醒度の低下が起こりやすい午後3時近辺を避ける。なお、実験では正午頃に計測を行った。

## 3. 暗順応

被計測者の瞳孔を十分拡張させるため、計測開始前に薄暗い実験室内で約20分間暗順応させた。これは、過去の研究事例の一つ<sup>[14]</sup>に約20分間暗順応させた後計測を行ったとあり、それにならったものである。

## 実験の手順

1. 実験室外の明るい場所で被験者のバイオグラフィック項目に関する単純なアンケートを記入してもらう。具体的には、年齢、視力、視覚異常、普段眼鏡やコンタクトレンズを装着しているかどうかについて記入してもらう。また、対光反応測定中に瞬目しないように指示する。
2. 被験者を実験室に誘導する。前述のように、実験室の照度は約2ルクスに調整されている。
3. 瞳孔の暗順応のため、20分間着座安静にしてもらう。その間、被験者には心理的緊張を解くためリラックス音楽を聞かせる。
4. 20分後、全面が黒色の映像を提示したES-HMDを被験者に装着してもらう。ただし、本研究で使用したES-HMDは、黒色の画面を提示した状態でも液晶ディスプレイのバックライトにより、装着者の眼球位置で約20ルクスの照度がある。そこで、ES-HMDを装着してから1分間の順応期間を設ける。
5. 瞳孔対光反応測定システムを立ち上げ、PCの計測開始キーを押して瞳孔径の計測と光刺激の提示を開始し、対光反応時における被計測者の瞳孔径を計測する。この際、赤外線CCDカメラで撮影した左目の眼球映像をデジタルビデオデッキで記録する。

## 計測シーケンス

黒色で何も提示されていない画面を被計測者に提示したまま、計測開始から3.0秒後にヘッドユニットの4つの白色LEDを同時に100msecの間点灯させ、その間の瞳孔径

を約 13.5 秒間計測する。なお、計測のサンプリングタイムは 33msec/回である。

#### 被験者

被験者は、裸眼視力が右眼 0.1、左眼 0.1、ソフトコンタクトレンズ装着時の視力が右眼 1.2、左眼 1.0 で視覚機能に異常がない男子大学生 1 名である。計測は、ソフトコンタクトレンズを装着した状態で行った。

#### 4.3.3 実験の結果と考察

実験の結果を図 4.23 と図 4.24 に示す。図 4.23 は、瞳孔対光反応における左眼の瞳孔径の時間変化で、図 4.24 は、右眼の瞳孔径の時間変化である。健常者の両眼の瞳孔収縮、散大の動きは両眼ともほぼ同じであるとされているが<sup>[14]</sup>、図 4.23 と図 4.24 からこれを確認した。さらに、計測中にデジタルビデオデッキで記録した左眼眼球映像からその瞳孔変化を目視により観察し、計測で得られた結果と一致することを確認した。デジタルビデオデッキで記録した眼球画像の例を図 4.25、図 4.26 に示す。図 4.25 は瞳孔収縮前の眼球映像であり、図 4.26 は瞳孔が最大収縮した際の眼球映像である。また、図 4.23 と図 4.24 より収縮前の瞳孔径に若干の相違が見られることが分かった。五円玉の擬似瞳孔径を目の位置に固定して計測すると、両眼ともに 5.0mm と測定されるように補正してあるため、これは計測誤差ではなく、この被験者の左右の瞳孔径は異なることを示している。人の身体的特性上、全く左右対称ではないため、眼球の大きさが左右で異なるが、この測定システムでは、両眼の瞳孔径の相違を計測できることを示している。また、オシロスコープを用いて計測した白色 LED による光の照射時間が、100msec であることを確認した。以上の結果より、本研究で開発した瞳孔径計測システムにより対光反応時の瞳孔径変化を計測できることを確認した。

#### 計測指標

対光反応時の瞳孔径変化を計測する際には、図 4.23、図 4.24 に示したような計測データが得られる。次に、この対光反応時の瞳孔径の時間変化から脳機能障害の計測に用いる代表的な計測指標を導入する方法を考える。

瞳孔対光反応の際の瞳孔径を計測した研究<sup>[15]</sup>で定義されている計測指標として、図 4.27 で示すような最大収縮率、潜時、収縮速度、再拡張速度があり、本研究でもこれらの指標について値を求めることにする。これらは、3.2 節に述べた、従来研究事例で

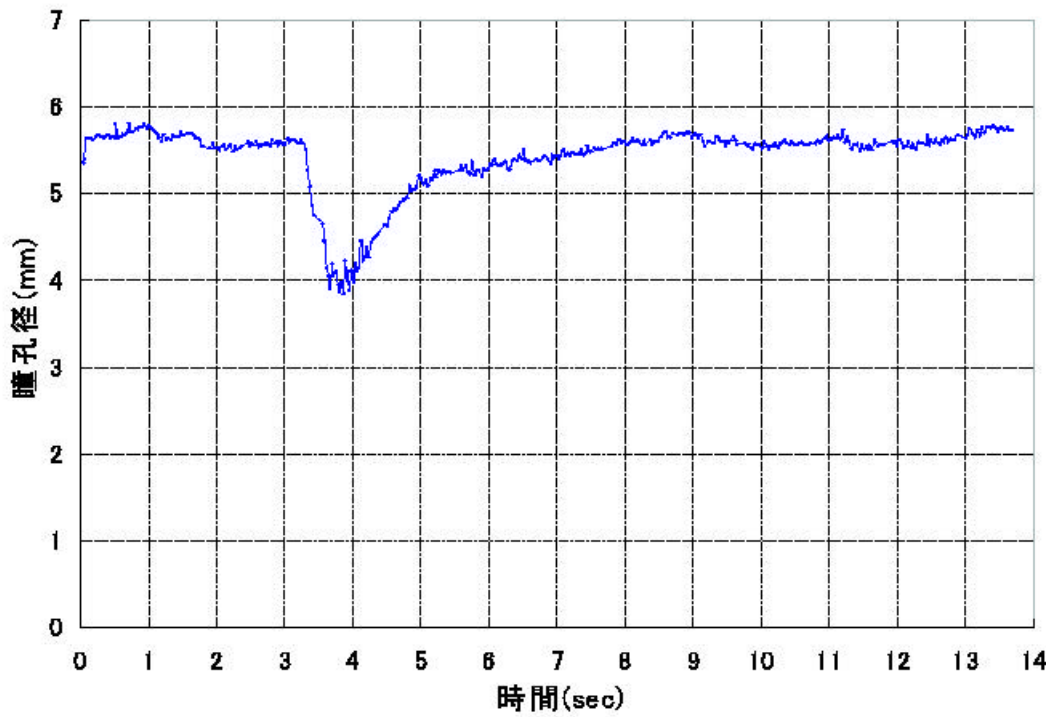


図 4.23: 対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化

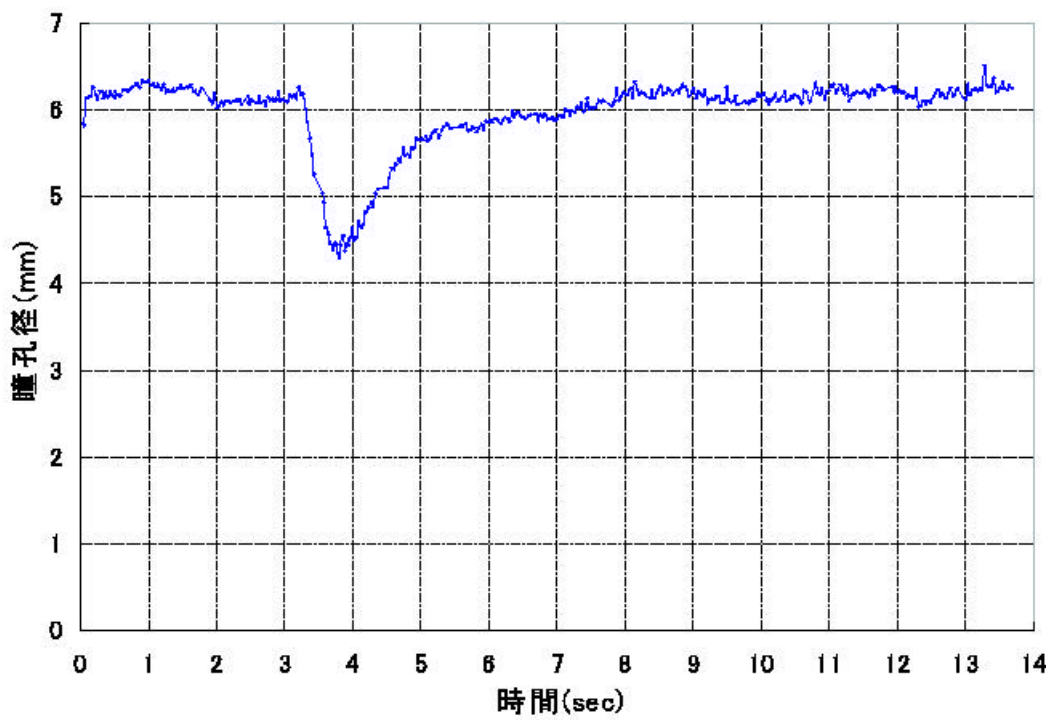


図 4.24: 対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化





図 4.25: 瞳孔収縮前の眼球映像



図 4.26: 最大収縮時の眼球映像

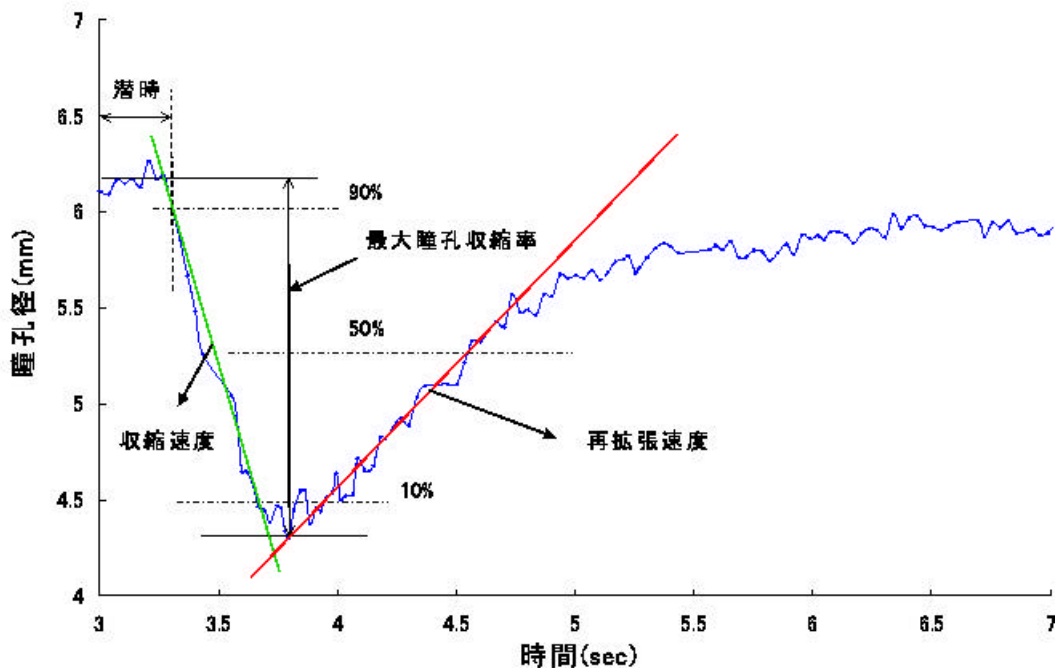


図 4.27: 対光反応測定における計測指標

も用いられている指標でもある。これらの計測指標の定義の詳細を以下に述べる。

2 最大収縮率

$$\text{最大収縮率} = 1 - \frac{\text{最小径}}{\text{収縮前瞳孔径}}$$

と定義する。ここでいう収縮前瞳孔径とは、計測開始から 3.0 秒後に光刺激を提示するが、その直前の 0.5 秒間の瞳孔径を平均したものとする。

2 潜伏

潜伏とは、光の刺激を受けてから、瞳孔が収縮を開始するまでの時間である。実際のデータには、ノイズ等の計測誤差が生じる可能性やデータにはない時点で瞳孔が収縮し始めている可能性もあるので、瞳孔が収縮し始めた時点がいつかを厳密に判断することはできない。そこで、潜伏を計測開始の 3.0 秒後から最大瞳孔収縮率の 10% 収縮時までの時間と定義する。

2 収縮速さ

収縮速さは、最大収縮率の 10% 収縮時から 90% 収縮時までの速さと定義する。具体的な計算方法を図 4.28 に示し、以下で説明する。

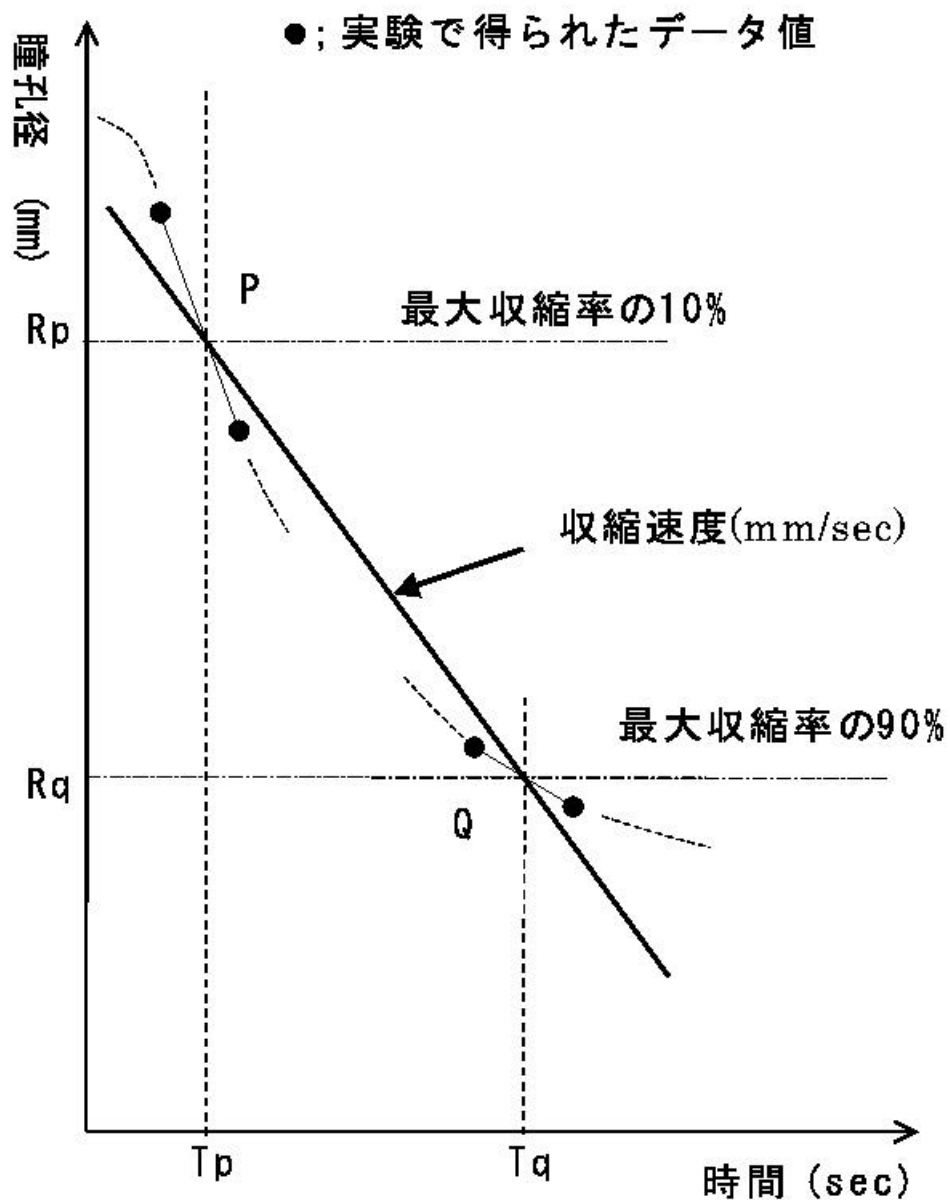


図 4.28: 対光反応測定における収縮速度の計算方法

最大収縮率の10%収縮時と90%収縮時の瞳孔径をそれぞれの時間の前後の計測データからそれぞれ線形的に求め、それらをそれぞれ  $R_p$ (mm)、 $R_q$ (mm) とし、この時の計測開始からの時間をそれぞれ  $T_p$ (s)、 $T_q$ (s) とする。これらから収縮速さ  $A$ (mm/s) は、 $A = j \frac{R_p - R_q}{T_p - T_q}$  で求める。

## 2 再拡張速さ

収縮速さは、最大収縮率の10%再拡張時から50%再拡張時までの速さと定義する。具体的な計算方法を図 4.29 に示し、以下で説明する。

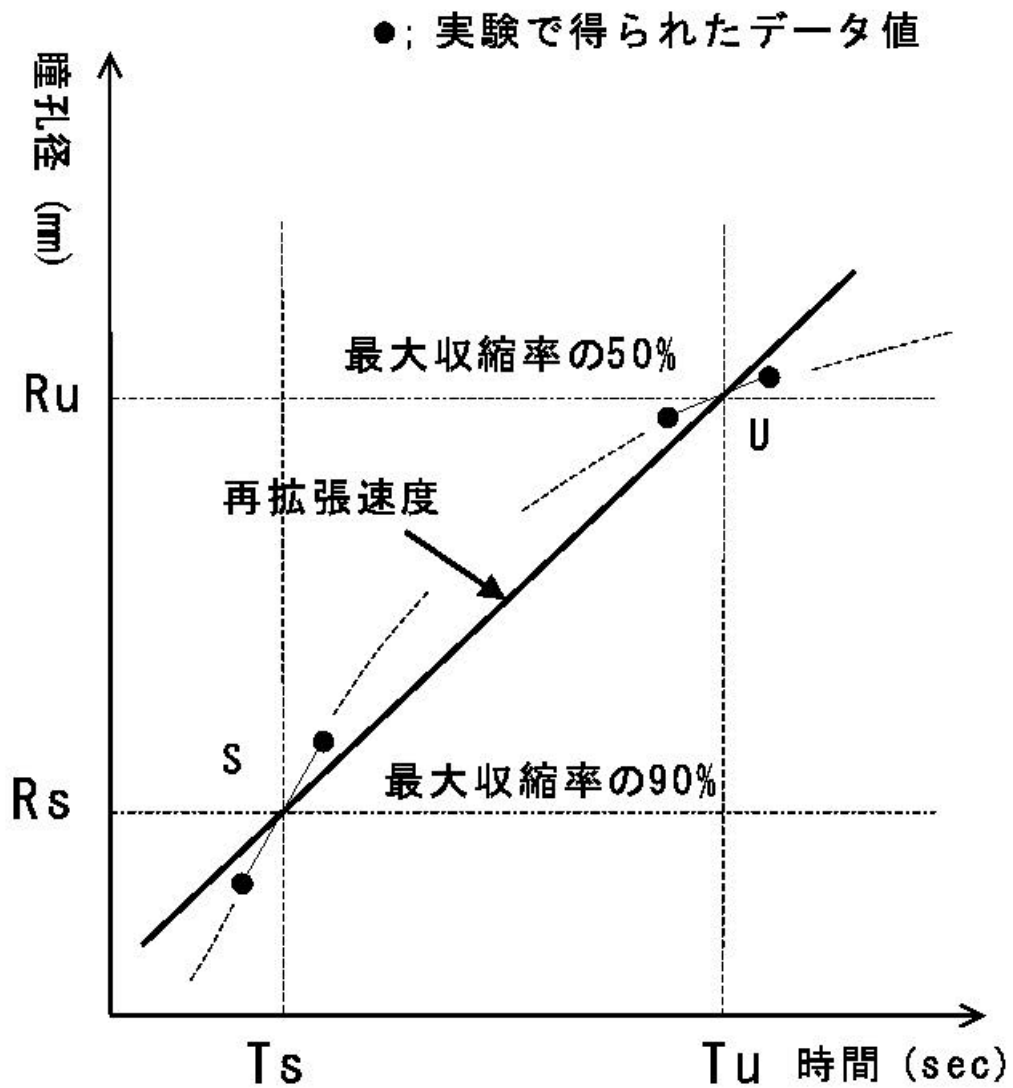


図 4.29: 対光反応測定における再拡張速度の計算方法

最大収縮率の10%収縮時と50%収縮時の瞳孔径をそれぞれの時間の前後の計測データからそれぞれ線形的に求め、それらをそれぞれ  $R_s$ (mm)、 $R_u$ (mm) とし、その時の計測開始からの時間をそれぞれ  $T_s$ (s)、 $T_u$ (s) とする。これらから、再拡張速度  $B$ (mm/s) は、 $B = j \frac{R_s \quad R_u}{T_s \quad T_u} j$  で求める。

瞳孔対光反応計測における指標の定義は上記の通りである。この実験で得られた計測指標のデータを表 4.9 に示す。また、この時、光の照射時間は、100msec であり、実験条件を満たしていた。

表 4.9: 瞳孔対光反応計測における計測指標のデータ

計測指標	左眼側の計測結果	右眼側の計測結果
最大収縮率	0.31	0.30
収縮速さ	4.09 mm/sec	4.40 mm/sec
再拡張速さ	1.12 mm/sec	1.03 mm/sec
潜時	0.32 sec	0.32 sec

## 4.4 追従運動測定システムの開発

本研究では、眼球の追従運動を計測するため、追従運動測定システムを開発した。そのシステム構成を図 4.30 に示す。このシステムは、昨年度の研究で開発した瞳孔中心位置計測機能に加え、ES-HMD のディスプレイ上に移動する指標 (ターゲット) を提示する機能から構成される。図 4.31 に ES-HMD に提示される移動ターゲットを示す。このターゲットは両眼のディスプレイに提示され、視野角で 24 °の間を水平方向に往復運動する。測定システムは、被計測者がターゲットを目で追っている間の瞳孔中心位置の変化を計測して、眼球の追従運動を計測するものである。なお、瞳孔中心位置計測機能の詳細は昨年度の研究<sup>[25]</sup>と同じ方法であるため、詳細な説明は割愛する。また、ES-HMD のディスプレイに提示されるターゲットの移動速度については後述する。

## 4.5 追従運動測定システムの評価実験

4.4 節で述べた追従運動測定システムを評価をするために、開発した追従運動測定システムを用いて実験を行った。

### 4.5.1 実験の目的

実験の目的は、以下の 3 点である。

- 2 開発した追従運動測定システムにより、移動するターゲットに追従して運動する眼球の中心位置が計測できることを確認する。
- 2 実験の結果得られた瞳孔中心位置と時間の関係のグラフから、移動するターゲットに追従して眼球が運動していたのか、あるいは追従運動せずにサッケード運動しているのかを区別する具体的な評価方法を考案する。

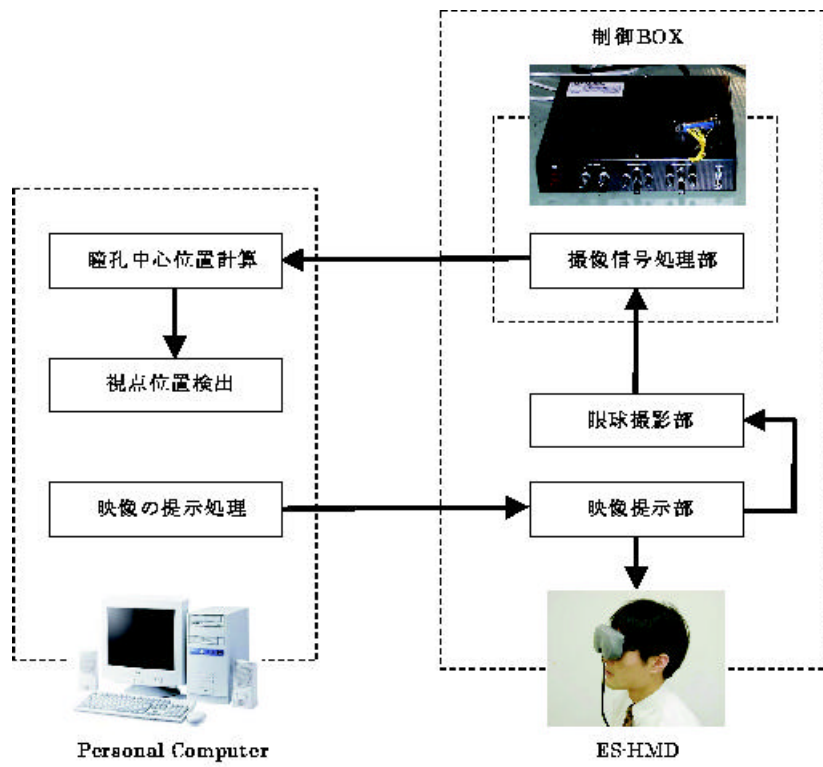


図 4.30: 追従運動測定システム構成

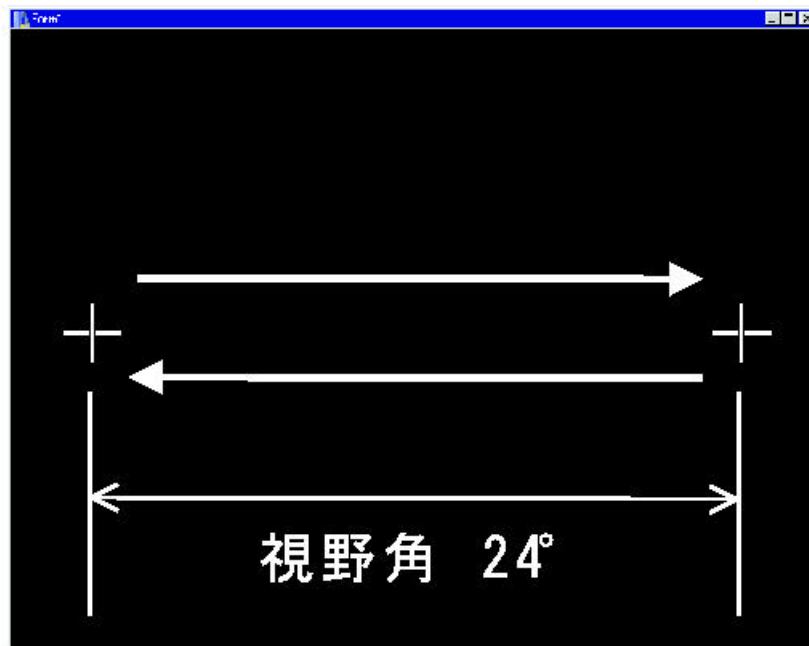


図 4.31: ES-HMD に提示されるターゲット

- ES-HMD のディスプレイに提示するターゲットの適切な速さを決定する。ここでいうターゲットの適切な速さとは、健常者の眼が追従運動からサッケード運動に変わるターゲットの速さのことである。

## 4.5.2 実験の方法

### 実験システム

実験システムは、4.4 節で述べたように、本研究で開発した追従運動測定システムを用いる。

### 実験環境、実験条件

実験環境、および実験条件は、対光反応測定システムの評価実験で述べた 4.3.2 項の実験環境、および 4.3.2 項の実験条件のうち光の照射時間を除く 2 つの実験条件と同じである。

### 実験の手順

- 実験室外の明るい場所で被験者のバイオグラフィック項目に関する単純なアンケートを記入してもらう。具体的には、年齢、視力、視覚異常、普段眼鏡やコンタクトレンズを装着しているかどうかについて記入してもらう。また、追従運動測定中には、ディスプレイに表示される白色のターゲットを目で追ってもらうこと、および瞬目しないことを指示する。
- 被験者を実験室に誘導する。前述のように、実験室の照度は約 2 ルクスに調整されている。
- 瞳孔の暗順応のため、20 分間着座安静にってもらう。その間、被験者には心理的緊張を解くためリラックス音楽を聞かせる。
- 20 分後、全面が黒色の映像を提示した ES-HMD を被験者に装着してもらい、1 分間、ES-HMD のディスプレイ画面の照度に順応してもらう。
- 追従運動測定システムを起動し、PC の計測開始キーを押して、被計測者の瞳孔中心位置の計測とターゲットの移動を開始させ、被計測者が目でターゲットを追っ

表 4.10: 被験者の性別、年齢、視力について

被験者	性別	年齢 (歳)	視力 (左)	視力 (右)
被験者 A	男性	24	裸眼 (0.1)	裸眼 (0.1)
			コンタクト (1.2) 着用時	コンタクト着用時 (1.0)
被験者 B	男性	23	裸眼 (0.2)	裸眼 (0.2)
			コンタクト着用時 (1.0)	コンタクト着用時 (1.0)
被験者 C	男性	23	裸眼 (0.2)	裸眼 (0.2)
			コンタクト着用時 (1.0)	コンタクト着用時 (1.0)

ている間の瞳孔中心位置を計測する。この際、赤外線 CCD カメラで撮影した左目の眼球映像をデジタルビデオデッキで記録する。

#### 計測シーケンス

計測開始前から黒色の画面に白色の十字型をしたターゲット (縦 60dot、横 60dot、線幅 6dot) を提示し、計測開始直後からターゲットが 3 °/sec (中央から左端へ)、6 °/sec (左端から右端へ)、以下左端と右端をターゲットは往復、12 °/sec、15 °/sec、17.1 °/sec、20 °/sec、24 °/sec、30 °/sec、34.3 °/sec、30 °/sec、24 °/sec、20 °/sec、17.1 °/sec、15 °/sec、12 °/sec、6 °/sec、3 °/sec (右端から中央へ)、と左右に視野角 24 ° の範囲を動く映像を提示し、その間の被験者の瞳孔中心位置を計測する。すなわち、ターゲットは左右の往復運動しながら移動速度を増していき、移動速度が 34.3 °/sec に達したところで、逆に移動速度が徐々に減少するように運動する。なお、計測のサンプリングタイムは、約 34msec/回であり、計測時間はターゲットが左右に往復運動している時間である約 39 秒間である。

#### 被験者

実験の被験者 3 名のデータを表 4.10 に示す。

#### 4.5.3 実験の結果と考察

実験結果の一例として、ターゲットを追従運動している際の被験者 A の左右の眼球中心位置の CCD 上の X 軸座標における時間的変化の計測をそれぞれ図 4.32、図 4.33



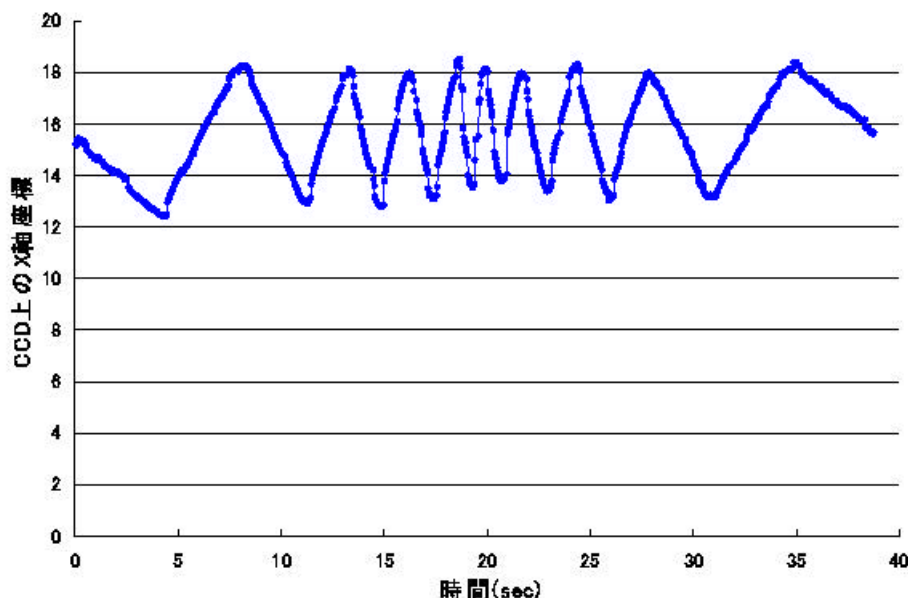


図 4.32: 追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化に示す。これらの図から、ターゲットの移動に合わせて被験者 A の眼球が追従運動している様子が分かる。

また、計測中にデジタルビデオデッキで記録した左眼眼球映像からその眼球の移動を目視により観察し、計測で得られた結果と一致することを確認した。デジタルビデオデッキで記録した眼球画像の例を図 4.34、図 4.35 に示す。図 4.34 はターゲットが左端に位置している時の眼球映像であり、図 4.35 はターゲットが右端に位置している時の眼球映像である。これより、本研究で構成した追従運動測定システムは目の追従運動する様子を正しく計測していることを確認した。

昨年度の研究では、ディスプレイ上座標系と CCD カメラ座標系とを変換するために事前にキャリブレーション操作を行っていた<sup>[25]</sup>。本研究では、測定を簡素化するため、このキャリブレーション操作を行っていない。そのため、ディスプレイに表示されたターゲットの座標と、それを追従するように移動する瞳孔中心位置座標とは一致していない。そこで、次の手順により眼球運動の速度を視野角として計算する。

1. ターゲットが最も遅い速さで左端に移動した時の被験者の瞳孔中心位置を求める。

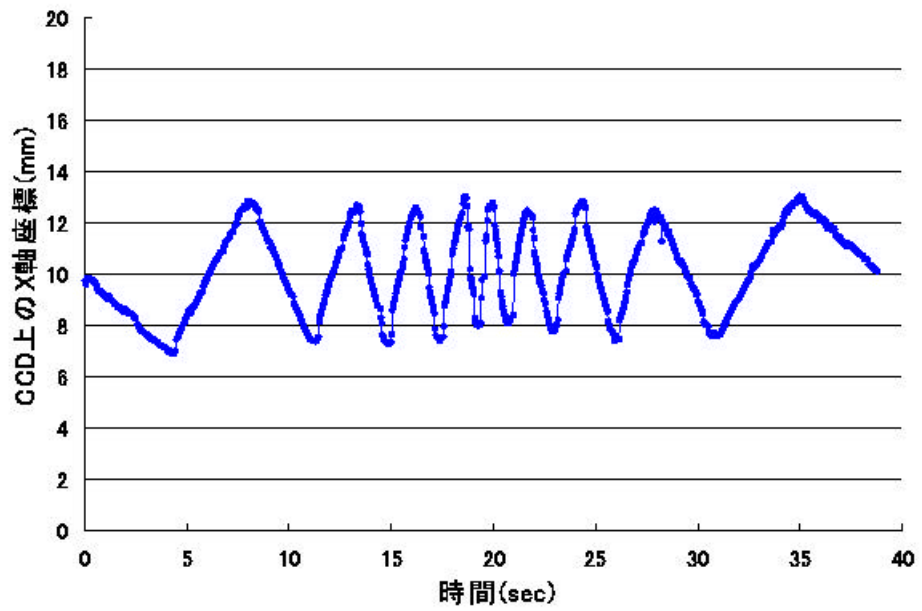


図 4.33: 追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化

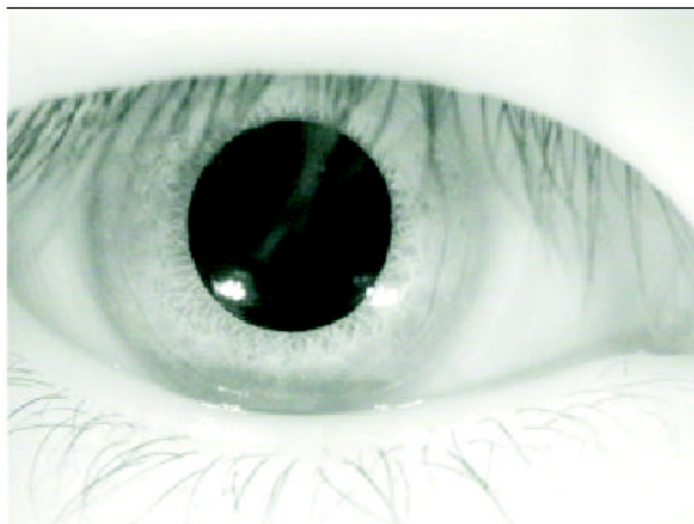


図 4.34: ターゲットが左端に位置している時の左眼眼球映像



図 4.35: ターゲットが右端に位置している時の左眼眼球映像

2. 1で求める点は、図 4.32、図 4.33 の中に 2 点ずつあり、それら 2 点の CCD 上の X 軸座標の値を平均する。
3. ターゲットが最も遅い速さで右端に移動した時の被験者の瞳孔中心位置を求める。
4. 3で求める点も 2の時と同じく、図 4.32、図 4.33 の中に 2 点ずつあり、それら 2 点の CCD 上の X 軸座標の値を平均する。
5. 2、4で求めた平均値の差を出して、左端と右端との距離を出す。
6. 5で求めた距離を、ターゲットが左右に動く視野角 24 °と一致していると仮定し、距離を視野角に換算する。
7. 6で求めた距離を視野角に換算する値を用いて、追従運動計測中における眼球運動の速さを距離から視野角の速さに換算した。

図 4.36、図 4.37 は、被験者 A の追従運動計測中における計測サンプリングごとの被験者 A の眼球運動の速さを表したものである。すなわち、時間  $t_n$  の時の視点位置の CCD 上の X 軸座標を  $X_n$  とし、時間  $t_{n+1}$  の時の視点位置の CCD 上の X 軸座標を  $X_{n+1}$  とし、時間  $\frac{1}{2}(t_n + t_{n+1})$  の時の眼球運動の速さを  $V_n$  とすると、

$$V_n = \frac{X_{n+1} - X_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (4.4)$$

により求めたものである。なお、グラフ中にはその時刻でのターゲットが移動する速さを赤線で示している。このようにして、その時点での眼球運動の速さを表し、微小なサッケード運動等の詳細な眼球運動の様子を調べることができる。ただし、この計算方法では、サンプリング間隔が短いため計測時の微小な計測誤差が大きな速度差として計算される恐れがある。そこで、計測サンプリングごとに瞳孔中心位置座標に関してはその前後3サンプリングの移動平均を求め、各サンプリング時点での瞳孔中心位置とした。これにより、被験者 A の眼球運動の速さを再計算したものを図 4.38、図 4.39 に示す。なお、グラフ中にはその時刻でのターゲットが移動する速さを赤線で示している。

これらの図から、ターゲットが左から右、あるいは右から左へと方向を逆転させ速さも変わる時に、眼球運動の速さは、0 まで下がった後、大きな値を示している。これは、視点で追従していたターゲットが急に逆方向に動くため、一瞬、眼球運動がその動きに追従できず、眼球運動が止まり、その後、高速に視線を飛ばすサッケード運動をしてターゲットの動きに合わせているためと考えられる。つまり、ターゲットが速度を変えた瞬間に眼球が行うサッケード運動は、被験者の眼球がターゲットの移動に対して追従運動できないのではなく、むしろこの測定システムによる不可抗力と考えるべきである。そこで、ターゲットが速度を変えた瞬間の眼球運動の速さ、つまりターゲットの速さが変わった瞬間の被験者の眼球運動の速さは除外して、図 4.38、図 4.39 から、ターゲットがどの速さの時まで、被験者 A の眼球がターゲットの移動に追従運動することができたかを評価することにする。

眼球運動には様々な運動があるが、代表的なものとしてサッケード運動と追従運動がある。サッケード運動は 100-500 °/sec、追従運動は 1-30 °/sec と言われている<sup>[24]</sup>。そこで、本研究では、本測定で得られた計測データから計測サンプリングごとに3サンプリングの移動平均した場合の眼球運動の速さを求め、その速さが 30 °/sec を超える眼球運動を全てサッケード運動と見なすことにする。ただし、この際、前述のターゲットが移動方向を変えた瞬間の眼球運動は除外する。また、測定時のばらつきを考慮して、ターゲットの速さが同じで、増速時、減速時ともにサッケード運動が見られ、かつ左右両眼ともにサッケード運動をしていることが確認できれば、被験者は、その時、サッケード運動をしていたものと見なすことにした。

この定義により被験者 A の眼球運動を解析した結果、ターゲットの速さが 15 °/sec の時にはじめて、サッケード運動になった。同様に、被験者 B、被験者 C の眼球運動を解析した結果では、それぞれターゲットの速さが 15 °/sec、12 °/sec の時にサッケー

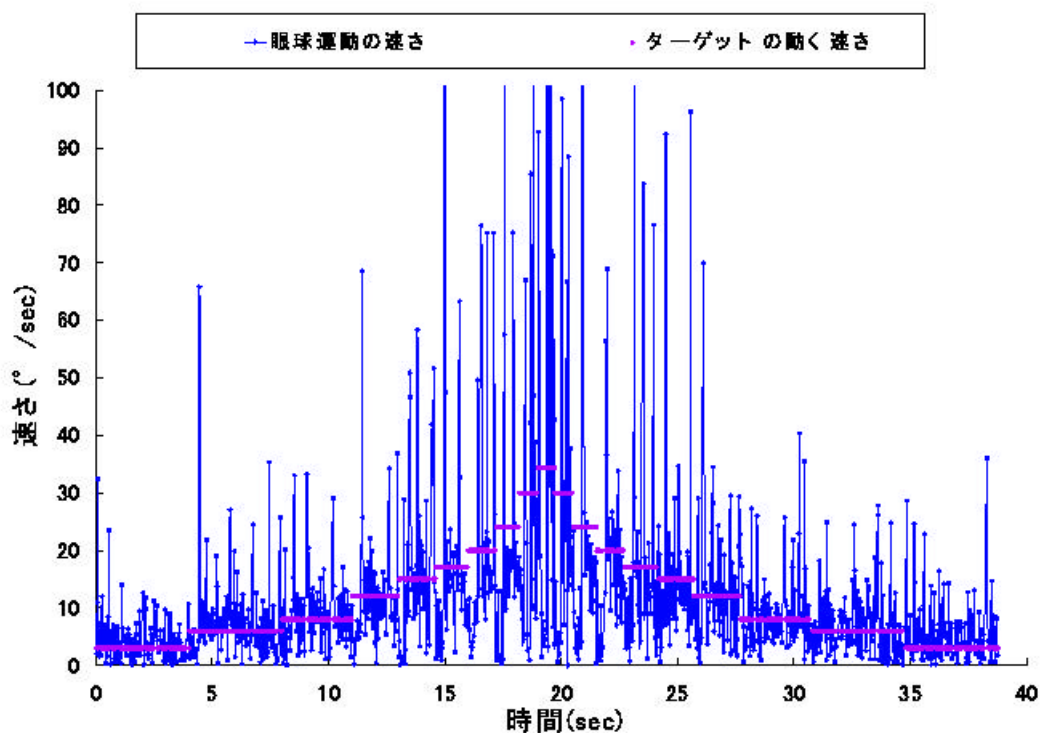


図 4.36: 追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球運動の速さ

ド運動になっていた。この被験者 B、C の計測結果については付録 H に示す。ADHD の人と健常者とでは違いは見られないが、精神分裂病の人は ADHD の人や健常者に比べて追従運動ができない<sup>[18]</sup>と報告されており、また、本研究では、脳機能障害の有無を調べる検査の一つとして本計測を行うことを考えている。そこで、この実験結果より、追従運動を計測する場合には被験者に提示するターゲットの速さを 20 °/sec 以下に設定するのが適切であると判断した。

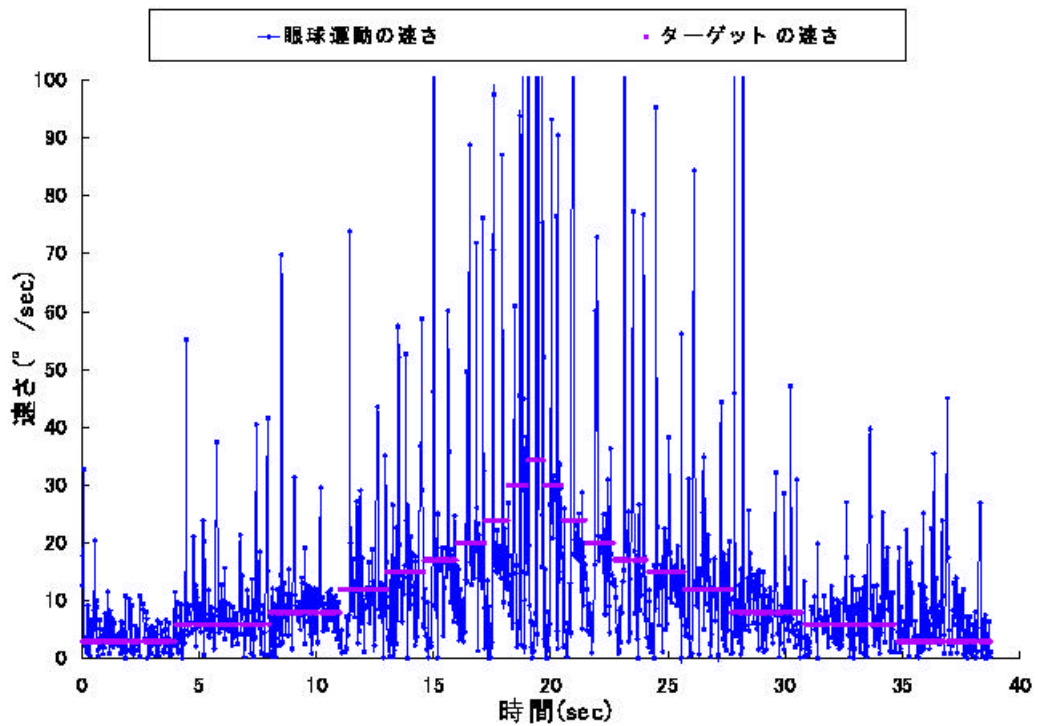


図 4.37: 追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球運動の速さ

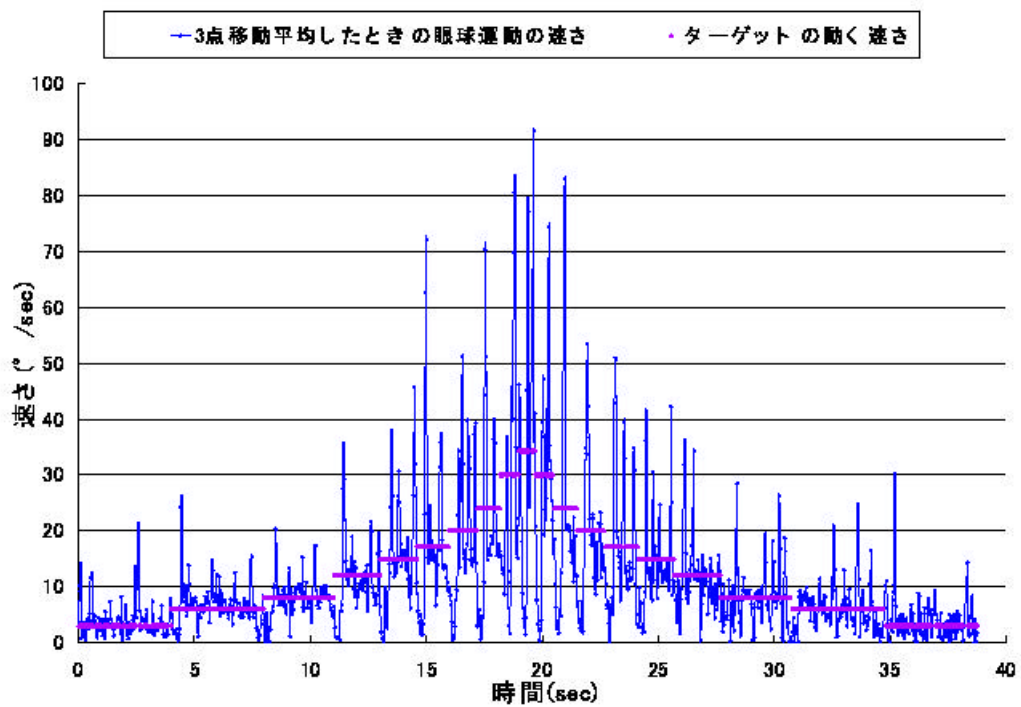


図 4.38: 追従運動測定時における被験者 A の左眼の眼球運動の速さ (移動平均後)

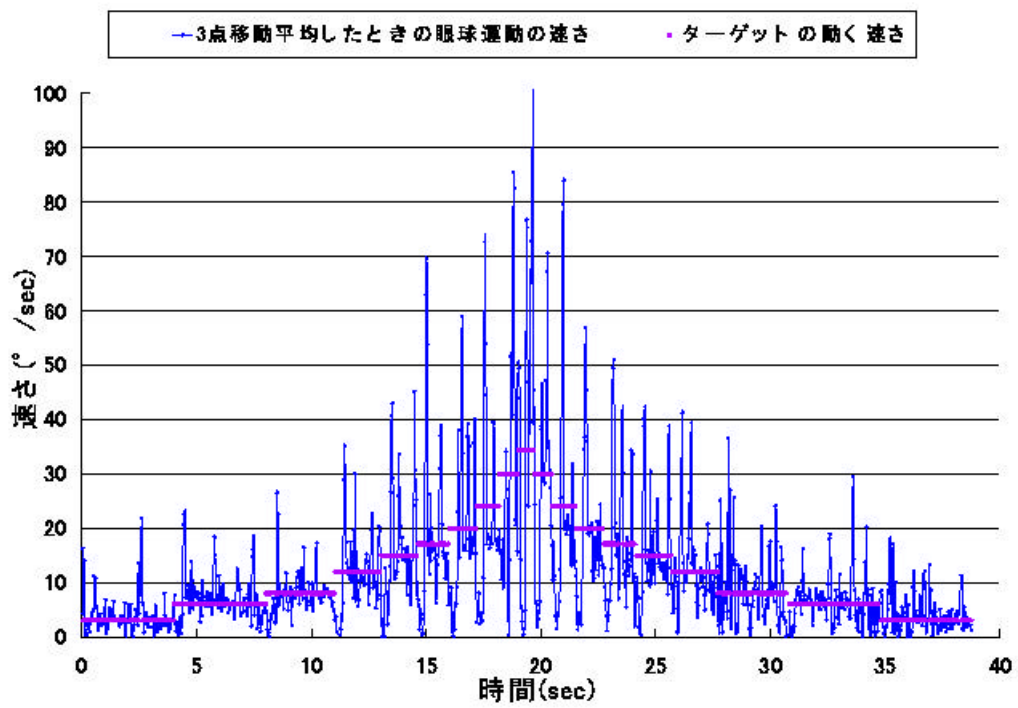


図 4.39: 追従運動測定時における被験者 A の右眼の眼球運動の速さ (移動平均後)

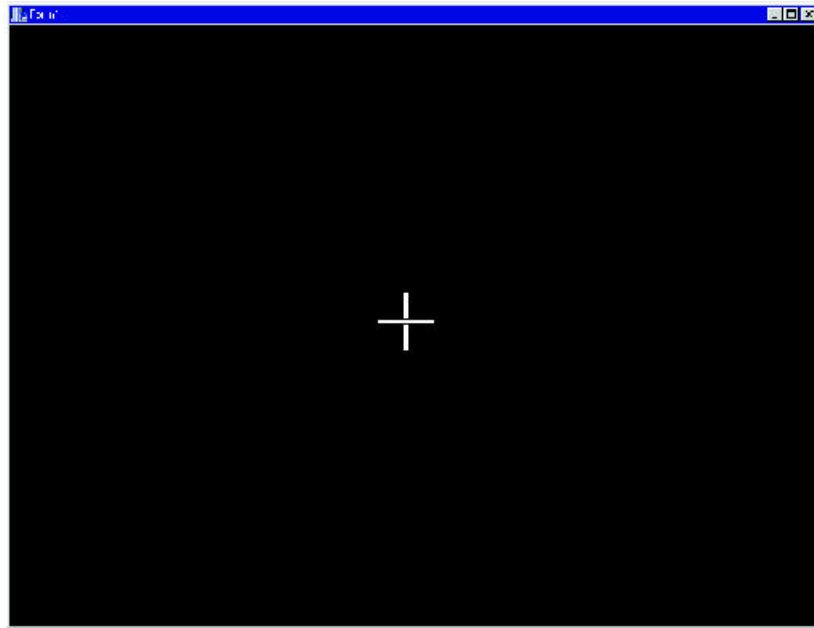


図 4.40: 一点注視測定において ES-HMD のディスプレイに表示される映像

## 4.6 一点注視測定システムの開発

本研究では、眼球の注視を計測するため、一点注視システムを開発した。そのシステム構成は、図 4.30 と同様である。4.4 節で述べた追従運動測定システムとこのシステムとの相違は、被計測者に提示する十字型のターゲットが中央で静止したままである点のみである。本測定システムにおいて、ES-HMD のディスプレイに表示される映像の一部を図 4.40 に示す。

## 4.7 一点注視測定システムの評価実験

4.6 節で述べた、本研究で構築した一点注視測定システムを評価するために、被験者実験を行った。以下では、その目的、方法、結果について述べる。

### 4.7.1 実験の目的

実験の目的は、以下の 2 点である。

- <sup>2</sup> 本研究で構築した一点注視測定システムを用いて、ターゲットが画面中央に静止している間の被計測者の眼球中心位置の動きが正確に計測できることを確認する。



- 2 計測結果から、一点注視測定における計測指標の定義とそれを評価する方法を考案する。

## 4.7.2 実験の方法

### 実験システム

実験では、節で述べた一点注視測定システムを用いる。

### 実験環境、実験条件

本評価システムの実験環境、実験条件は、4.5.2 項で述べた追従運動測定システム評価実験の実験環境、実験条件とすべて同じである。

### 実験の手順

1. 実験室外の明るい場所で被験者のバイオグラフィック項目に関する単純なアンケートを記入してもらう。具体的には、年齢、視力、視覚異常、日常生活で眼鏡やコンタクトレンズを装着しているかどうかについて記入してもらう。また、一点注視測定中には、ディスプレイに表示される白色のターゲットを注視してもらうこと、および瞬目しないことを指示する。
2. 被験者を実験室に誘導する。前述のように、実験室の照度は約 2ルクスに調整されている。
3. 瞳孔の暗順応のため、20 分間着座安静にしてもらう。その間、被験者には心理的緊張を解くためリラックス音楽を聞かせる。
4. 20 分後、ES-HMD のディスプレイ画面の照度に順応してもらうため、全面が黒色の映像を提示した ES-HMD を被験者に 1 分間装着してもらう。
5. 一点注視測定システムを起動し、PC の計測開始キーを押すことで被計測者の瞳孔中心位置の計測を開始させ、被計測者がターゲットを注視している間の瞳孔中心位置を計測する。この際、赤外線 CCD カメラで撮影した左目の眼球映像をデジタルビデオで記録する。

## 計測シーケンス

計測開始前から黒色の画面に白色の十字型をしたターゲットが画面の中央で静止した画像を提示し、計測開始後、被験者の視点位置を10秒間計測する。なお、計測のサンプリングタイムは、約34msec/回である。次に、注視できていない場合の瞳孔中心位置の範囲を調べるために、十時型をしたターゲットを計測開始5秒後に(1)ターゲットを中央の位置から視野角で $0.5^\circ$ 左にずらしたところに移動させた場合、(2)中央の位置から視野角で $1^\circ$ 左にずらしたところに移動させた場合、(3)中央の位置から視野角で $3^\circ$ 左にずらしたところに移動させた場合、(4)中央の位置から視野角で $6^\circ$ 左にずらしたところに移動させた場合のそれぞれの場合において被験者の視点位置を約10秒間計測する。

## 被験者

被験者は、裸眼視力が右眼0.1左眼0.1、ソフトコンタクトレンズ装着時の視力が右眼1.2、左眼1.0で他の視覚機能に異常がない男子大学生1名である。計測は、ソフトコンタクトレンズを装着した状態で行った。

### 4.7.3 実験の結果と考察

計測中の被験者の瞳孔中心位置座標を図4.41、図4.42に示す。これらの図から、計測時の瞳孔中心位置の移動は左右両眼とも上下方向に1mm程度、左右方向に0.4mm程度であることが分かる。この被験者の計測結果では、注視時であっても眼球運動が静止しているわけではなく、小さく動いていることを示している。これは、注視時であっても固視微動等によって眼球が小さく運動するという従来<sup>[24]</sup>の知見に一致する。

この測定結果が測定システムの計測安定性不良でないことを確認するため、5円玉をES-HMDを装着した時の被験者の眼の位置と同じ位置に固定して、同様の計測を行った。その結果を図4.43、図4.44に示す。図4.43と図4.44により、5円玉の穴を疑似瞳孔として測定した場合には、上下方向に若干ばらつくが、そのばらつきは約0.1mmほどであるため、被験者による一点注視時の瞳孔中心位置の移動が測定システムの計測安定性不良でないことが確認できた。なお、上下方向のばらつきが左右方向に比べて大きいのは、眼球を撮影するCCDカメラの解像度が左右方向より上下方向の方が粗いためと考えられる。

さらに、計測中にデジタルビデオデッキで記録した左目眼球映像からその眼球の

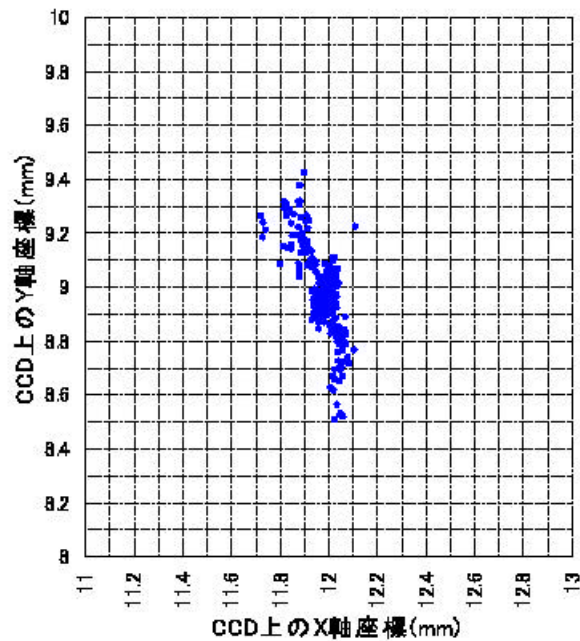


図 4.41: 一点注視測定時における被験者の左眼の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置

移動を目視により観察し、計測で得られた結果と一致することも確認した。

ところで、図 4.41、図 4.42 における瞳孔中心位置計測データからは、注視時における眼球が固視微動や視点位置のドリフト等によりどのように遷移しているかがわからない。そこで、計測中に得られた眼球中心位置の前後 1 サンプリングずつの計 3 サンプリングの重心を移動平均として求め、その軌跡を瞳孔中心位置データと共に描いたものを図 4.45、図 4.46 に示す。図中では移動平均をとった瞳孔中心位置を×印で表し、その前後を線で結んでいる。これを見れば、注視している時に目がどのような動き方をしたかがわかる。

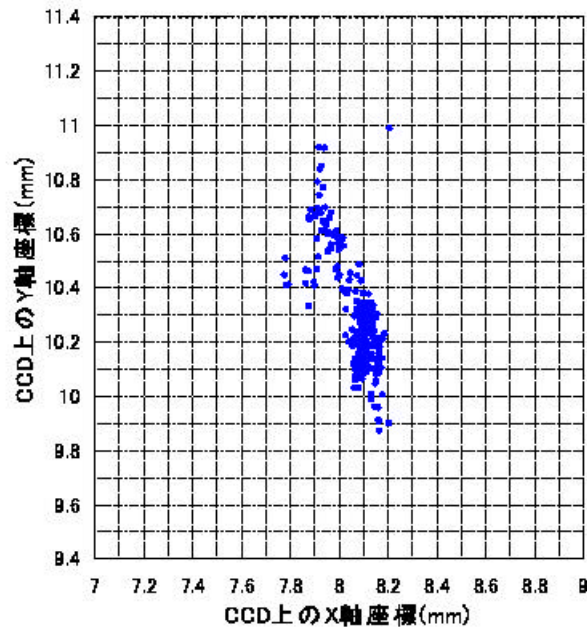


図 4.42: 一点注視測定時における被験者の右眼の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置

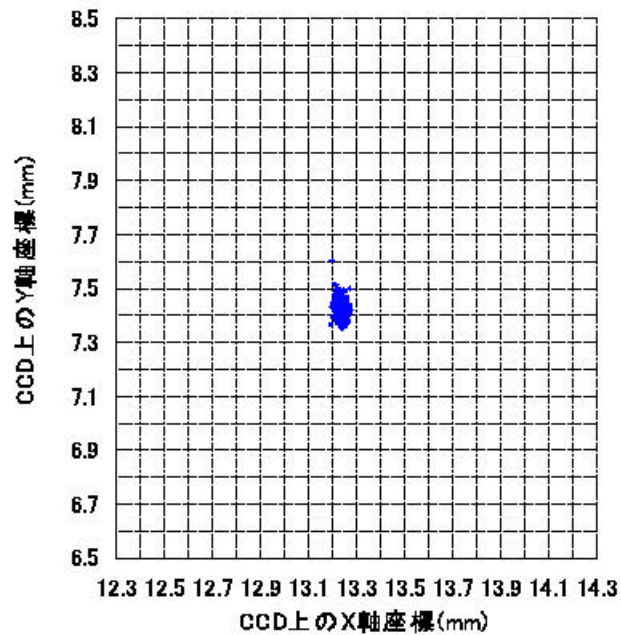


図 4.43: 5 円玉の穴の測定における左眼側の CCD カメラ座標における瞳孔中心位置

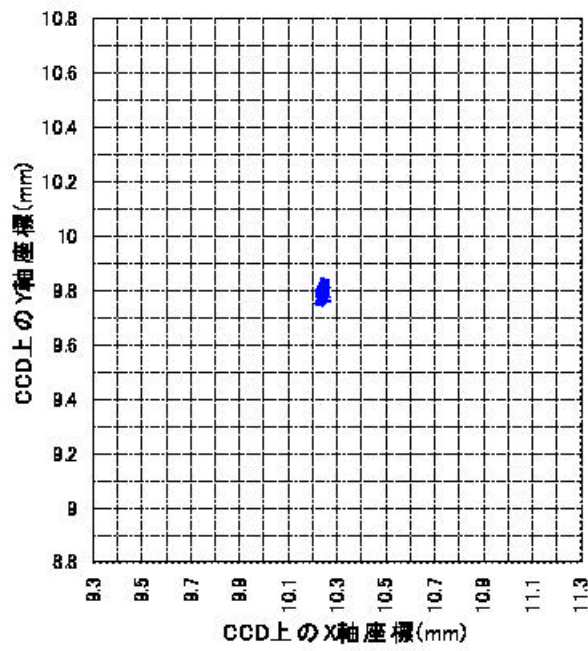


図 4.44: 5 円玉の穴の測定における右眼側の CCD 座標における瞳孔中心位置

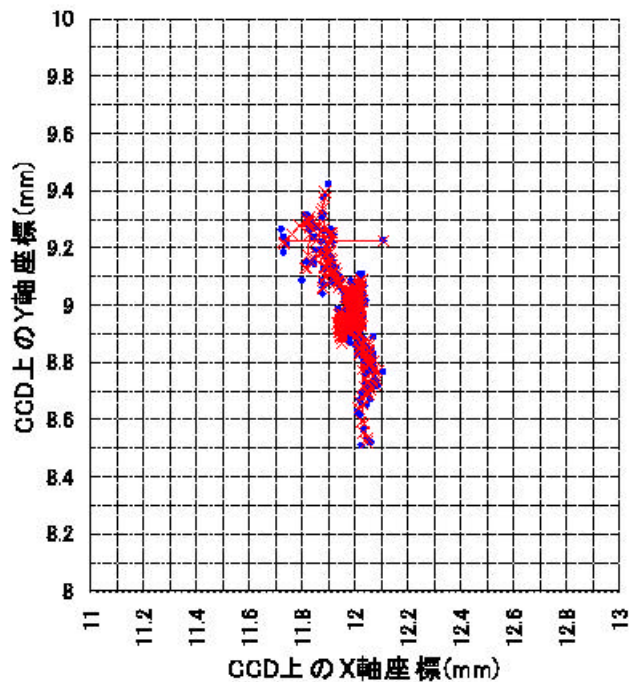


図 4.45: 注視時における被験者の左眼の瞳孔中心位置とその軌跡

また、過去の研究で注視点について定義がいくつか行われている。その注視点の定義<sup>[24]</sup>によると次の二つの方法が示されている。

1. 中心窩の大きさなどある範囲の視角を定め、その範囲内に入った動きを1つの注視点と定める方法

この方法は、注視点の基準としてよく用いられているが、実験中にリアルタイムで注視点を分離する場合には適していない、また、動いている対象を追従視しているときなど、本来その対象を注視している場合でも、注視点として処理することができないことが問題となる。

2. 眼球運動速度を基準とした方法

この方法では、固視微動の速度成分とある範囲内の追従運動成分を含めることにしている。注視点に含まれる追従運動成分としては、ターゲットに遅れながら追従している成分ではなく、ターゲットの動きと眼球運動が位相の遅れがなくほぼ100%一致している成分を考えている。この条件を満たす追従運動の速さとしては、10 °/sec 以下となることが過去の実験結果から示されている。

本研究では、これらの注視の定義を参考に、ある視角の範囲内での眼球運動速度が

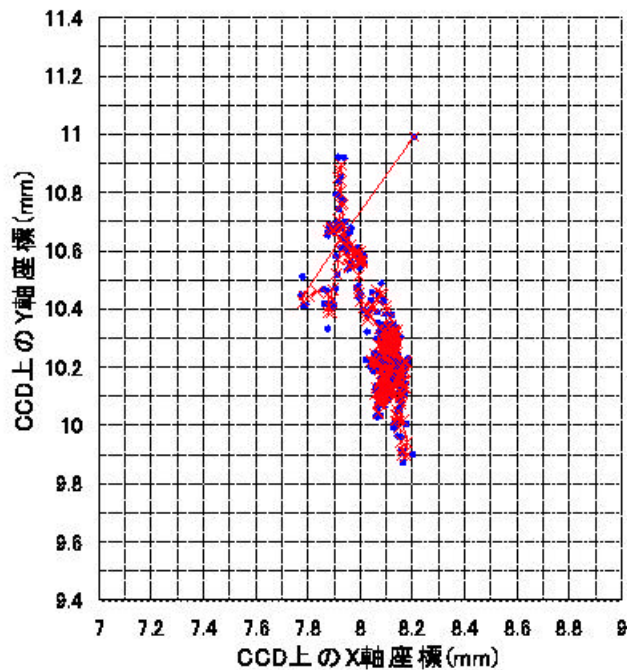


図 4.46: 注視時における被験者の右眼の瞳孔中心位置とその軌跡

ある値以下の時、注視しているものと定義する。

注視時の視角の範囲は、実験の結果を参考にして以下のように定めた。図 4.41 と図 4.42 からわかるように、上下方向のばらつきが左右方向のばらつきに比べて大きい。これは前述のように ES-HMD の眼球撮像系の上下方向と左右方向で解像度が異なるためと考えられる。そこで、視角の範囲を左右方向と上下方向に分けて考える。実験で得られた注視時の瞳孔中心位置変化の左右方向の範囲は約 0.4mm であり、上下方向の範囲は 1.0mm である。これらのそれぞれに 1.5 倍の余裕をもたせて、0.6mm × 1.5mm 四方の長方形を注視時の瞳孔中心位置の範囲とする。

一方、注視時の眼球運動速度の範囲は、実験の結果を参考にして以下のように定めた。計測中に得られた眼球中心位置の前後 1 サンプルずつの計 3 サンプルの重心を移動平均として求めたが、この移動平均後の各点における速さを眼球運動の速さとして図 4.47(左眼) と図 4.48(右眼) に示す。ただし、図中で、眼球運動の速さを求める際に必要な瞳孔中心位置から視野角への換算には、各被験者毎に、眼の追従運動計測実験の時に求めた値を用いた。一部に 10 °/sec を超えているところもあるが、ほとんどが 10 °/sec 以下に収まっている。これより、注視時の眼球運動速度の範囲は、10 °/sec 以下とする。

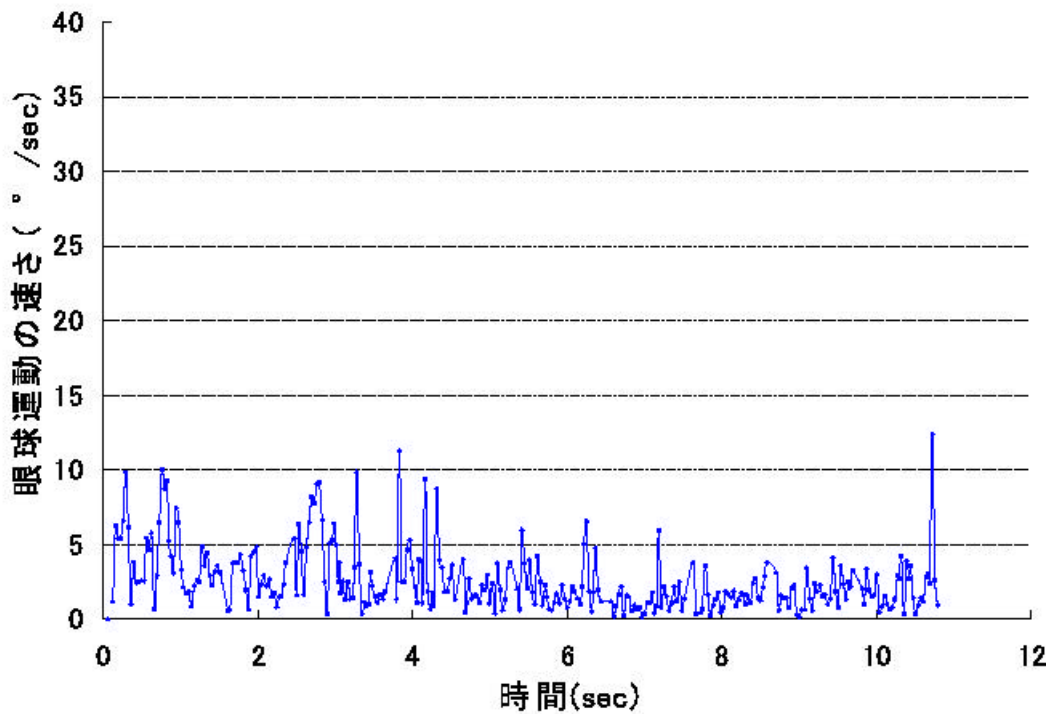


図 4.47: 注視時における被験者の左眼の 3 点移動平均における速さ

以上をまとめると、

- 2 瞳孔中心の移動範囲：瞳孔中心の移動範囲が  $0.6\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  以内であること  
かつ
- 2 眼球運動の速さ：その間の眼球運動の速さが  $10\text{ }^\circ/\text{sec}$  以下であること

の 2 つの条件を満たしているときを注視しているとして判別すると定義する。

また、この定義に基づいて、白色の十字型のターゲットを計測開始後 5 秒後に中央の位置から (1) 視野角  $0.5\text{ }^\circ$  左にずらしたところに移動させた場合、(2) 視野角  $1\text{ }^\circ$  左にずらしたところに移動させた場合、(3) 視野角  $3\text{ }^\circ$  左にずらしたところに移動させた場合、(4) 視野角  $6\text{ }^\circ$  左にずらしたところに移動させた場合の計測結果を検討した。計測結果は付録 I に譲るが、(1) 視野角  $0.5\text{ }^\circ$  と (2) 視野角  $1\text{ }^\circ$  左にずらしたところにターゲットを移動させた場合の計測結果は、上記で定義した注視の範囲に入っていた。また、(3) 視野角  $3\text{ }^\circ$ 、(4) 視野角  $6\text{ }^\circ$  左にずらした場合については、ターゲットが大きく移動したことにより、眼球運動の速さは途中で約  $20\text{ }^\circ/\text{sec}$  まで上がっていることが確認でき、さらに瞳孔中心位置も  $0.6\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  四方の長方形の範囲に入っていないことを確認した。すなわち、視野角が  $1\text{ }^\circ$  程度の固視微動や小さなドリフトの場合は、上記の定



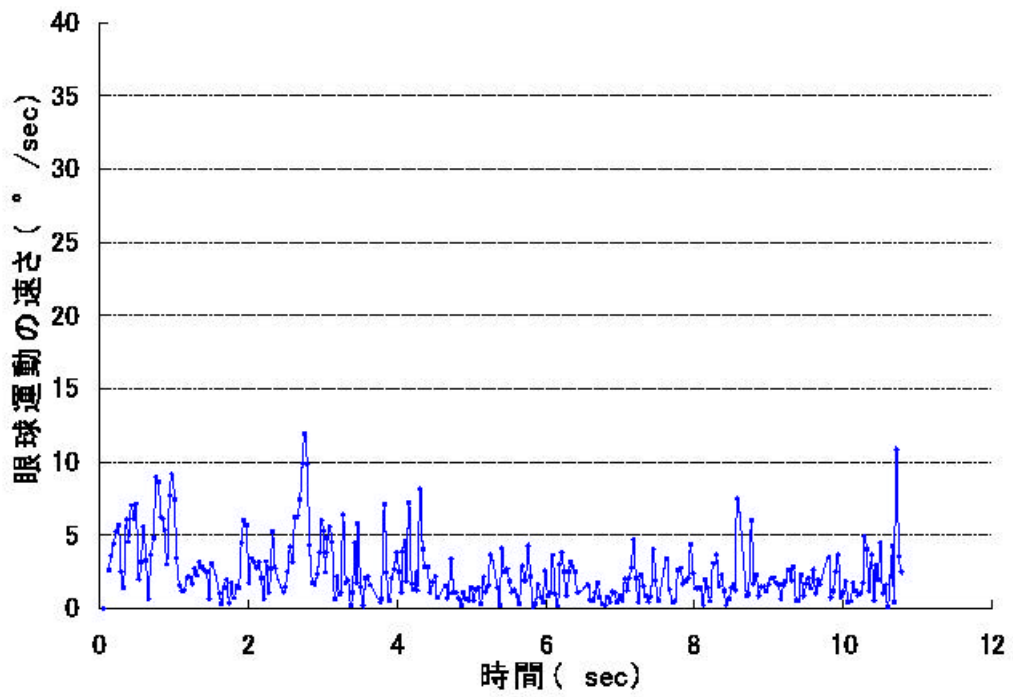


図 4.48: 注視時における被験者の右眼の3点移動平均における速さ

義によると注視として判別され、視野角が3°以上の視点移動は注視と判別されないことを確認した。

## 第 5 章 開発した測定システムによる基礎的評価 実験

本研究で開発した 3 つの測定システムを用いた脳機能障害に関するスクリーニング検査を想定して、測定手順やその方法の問題点を抽出し改善方法を探るため、被験者実験を行った。本章では、この被験者実験の手順、実験条件、実験内容、実験結果、結果の解析と考察、実験全体を通じてのまとめと今後の展望について述べる。

### 5.1 実験の概要

実験は、研究室内に設けた実験室において、視覚および脳機能に異常がない数名の被験者を対象に、開発した 3 つの測定システムを用いて瞳孔対光反応、追従運動、一点注視指示時の眼球運動を計測した。また、実験後にアンケート調査を行い、実験で得られた計測データとアンケート調査から計測手順やその方法の問題点を抽出した。以下では、3 つの計測を含む実験全体の環境、実験条件、手順、および被験者について述べる。

#### 5.1.1 実験環境

外部からの光を遮断し環境光が約 2 ルクスの実験室内で計測した。

#### 5.1.2 実験条件

##### 1. 計測時間帯

被験者の覚醒度の低下の影響を避けるため、サーカディアンリズム<sup>[26]</sup>における覚醒度の低下が起こりやすい 15 時近辺を避けた。各被験者毎に実験を開始した時刻を表 5.1 に示す。

##### 2. 暗順応

4.3.2、4.5.2、4.7.2 項で述べた 3 つの各測定システムの評価実験では、実験条件として、約 20 分間の暗順応を実施したが、簡便なスクリーニング検査を目指す上で

表 5.1: 実験を開始した時刻

被験者	実験開始時刻
被験者 D	16 時 30 分
被験者 E	17 時 30 分
被験者 F	18 時 15 分
被験者 G	18 時 30 分
被験者 H	16 時 45 分

は計測前の待ち時間が長くなり好ましくない。そこで、実際のスクリーニング検査を想定し、その想定される検査の待ち時間 (5 分間) を暗順応に利用することにした。つまり、常に 2 人が検査待ちの状態であるとし、検査の待ち時間を検査にかかる時間 (約 2 分半) × 2 人分と想定し、暗順応時間を 5 分間と決定した。

### 5.1.3 実験全体の手順

実験手順を以下に示す。

1. 実験室外の明るい場所で被験者のバイオグラフィック項目に関する単純なアンケートを被験者に記入してもらった。具体的には、年齢、視力、視覚異常、現在眼鏡やコンタクトレンズを装着しているか等について記入してもらった。  
このアンケート内容を付録 M に示す。
2. 実験中の注意事項を読んでもらい、実験中に被験者に要求する事柄を指示した。  
この実験中の注意事項を付録 M に示す。
3. 被験者を実験室に誘導する。前述のように、実験室の照度は約 2 ルクスに調整されている。
4. 瞳孔の暗順応のため、5 分間着座安静にしてもらった。
5. 5 分後、全面が黒色の映像を提示した ES-HMD を被験者に装着してもらおう。そこで、ES-HMD を装着してから 1 分間の順応期間を設ける。
6. 瞳孔対光反応計測実験を行う。実験の内容は、後述の 5.2 項で詳しく述べる。

表 5.2: 被験者の性別、年齢、視力について

被験者	性別	年齢 (歳)	視力 (左)	視力 (右)
被験者 D	女性	23	裸眼 (1.0)	裸眼 (1.0)
被験者 E	男性	30	裸眼 (0.04) コンタクト着用時 (1.2)	裸眼 (0.04) コンタクト着用時 (1.2)
被験者 F	男性	23	裸眼 (0.2) コンタクト着用時 (1.2)	裸眼 (0.2) コンタクト着用時 (1.2)
被験者 G	男性	24	裸眼 (0.1) コンタクト着用時 (1.0)	裸眼 (0.1) コンタクト着用時 (1.2)
被験者 H	男性	23	裸眼 (0.3) 眼鏡着用時 (1.2)	裸眼 (0.3) 眼鏡着用時 (1.2)

7. 目の追従運動計測実験を行う。実験の内容は、後述の 5.3 項で詳しく述べる。
8. 一点注視計測実験を行う。実験の内容は、後述の 5.4 項で詳しく述べる。
9. 実験室外の明るい場所で被験者の実験中の眠気 (覚醒度) と実験への集中力、実験の気軽さ、あるいは、実験中に目を閉じたか、閉じなかったか等についてのアンケートに記入してもらった。  
このアンケート内容を付録 M に示す。

## 被験者

被験者は、表 5.2 に示す、心身共に健常な 5 名である。また、実験前に実施したバイオグラフィック項目に関するアンケートによると、彼ら全員は、視覚異常をかかえておらず、暗所で緊張することもなく、暗所恐怖症でもなかった。

## 5.2 瞳孔対光反応計測実験

4.2 節で述べた瞳孔対光反応測定システムを用いた脳機能障害に関するスクリーニング検査を想定して、被験者実験を行った。

## 5.2.1 実験の目的

実験の目的は、以下の2点である。

- 2 実験の結果として得られた計測指標のデータを解析し、評価する。
- 2 スクリーニング検査として実際に計測することを想定し、計測全体の手順や方法の問題点を抽出する。

## 5.2.2 実験の方法

### 実験システム

実験システムは、4.2節で述べた、本研究で開発した瞳孔対光反応測定システムを用いる。ただし、計測条件は以下のように変更している。

### 計測条件の変更

4.3節の瞳孔対光反応測定システム評価実験において計測条件に関し2つの問題点が見つかった。その問題点と本実験における計測条件の変更について述べる。

- 2 4.3.2項で示した計測シーケンスの瞳孔対光反応の計測時間（約13.5秒間）が少し長い。

4.3.3項のデータ解析の結果、瞳孔反応の計測指標を得るためには、光刺激提示後数秒あれば十分であることがわかった。被計測者が目を開け続けなければならない時間が長ければ、瞬目による計測ミスの起こる可能性が高くなるため、計測時間はなるべく短くする必要がある。そのため、今回の実験では、この計測時間を10秒間に短縮した。

- 2 計測中に被計測者が見るべき視対象がない。

これは、4.3.2項で述べたが、被験者に何も映し出されていない黒色の画面を提示しただけであったため、瞳孔対光反応測定システムの評価実験の被験者から、何か視点を定めるターゲットがある方がよいとのコメントが寄せられた。そこで、一点注視実験時に被験者に提示する黒い背景画面の中央に、視対象として白色の十字型のターゲットが静止した映像を被験者に提示するようにした。

## その他の計測条件

### 2 光刺激の提示時間

白色 LED の照射時間は 100msec とする。100msec とする理由は、前述の 4.2.1 項で述べた通りである。

## 計測シーケンス

4.6 項で述べたように、図 4.40 に示すような黒い背景の画面の中央に白色の十字型のターゲットが静止した映像を被験者に提示し、計測開始から 3.0 秒後に 4 つの白色 LED を同時に 100msec の間点灯させ、その間の瞳孔径を 10 秒間計測した。なお、計測のサンプリングタイムは 33msec/回である。

## 計測の手順

1. 被験者に ES-HMD を装着してもらう。
2. 二値化された眼球映像を見ながら、ES-HMD の撮像信号処理をしている制御 BOX の二値化レベルを調整する。
3. 瞳孔対光反応測定システムを起動する。
4. 計測中の眼球の映像をデジタルビデオデッキで記録するため、録画を開始する。
5. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に瞳孔径の計測を開始する。
6. 計測開始 3.0 秒後に白色 LED により光刺激を提示する。
7. 計測開始から 10 秒間瞳孔径を計測する。
8. 計測終了後、デジタルビデオデッキの録画を止める。

### 5.2.3 実験の結果と考察

実験の結果として、瞳孔対光反応時の各被験者の潜時、最大瞳孔収縮率、収縮速度、再拡張速度を表 5.3 ~ 表 5.7 に示す。これらの計測指標の算出方法は、4.3.3 項で述べた通りである。なお、計測中は、白色 LED による光刺激の提示時間をオシロスコープを用いて計測し、全ての被験者に対し 100msec 間光刺激を提示したことを確認した。

表 5.3: 被験者 D の瞳孔対光反応計測実験の結果

計測指標	左眼	右眼
潜時	0.28sec	0.23sec
最大瞳孔収縮率	0.30	0.32
収縮する速さ	4.05mm/sec	3.43mm/sec
再拡張する速さ	1.45mm/sec	1.95mm/sec

表 5.4: 被験者 E の瞳孔対光反応計測実験の結果

計測指標	左眼	右眼
潜時	0.32sec	0.27sec
最大瞳孔収縮率	0.29	0.30
収縮する速さ	4.60mm/sec	4.43mm/sec
再拡張する速さ	1.68mm/sec	1.06mm/sec

表 5.5: 被験者 F の瞳孔対光反応計測実験の結果

計測指標	左眼	右眼
潜時	0.35sec	0.35sec
最大瞳孔収縮率	0.29	0.25
収縮する速さ	4.08mm/sec	4.15mm/sec
再拡張する速さ	1.01mm/sec	1.49mm/sec

表 5.6: 被験者 G の瞳孔対光反応計測実験の結果

計測指標	左眼	右眼
潜時	0.34sec	0.34sec
最大瞳孔収縮率	0.30	0.29
収縮する速さ	4.35mm/sec	3.90mm/sec
再拡張する速さ	1.43mm/sec	1.47mm/sec

表 5.7: 被験者 H の瞳孔対光反応計測実験の結果

計測指標	左眼	右眼
潜時	0.33sec	0.34sec
最大瞳孔収縮率	0.19	0.19
収縮する速さ	3.02mm/sec	3.11mm/sec
再拡張する速さ	0.73mm/sec	0.90mm/sec

表 5.3～表 5.7 から、各被験者ごとの左眼、右眼における計測指標を比較した。潜時は、被験者全員とも、左右の眼で値の差が 0.05 秒以内に収まっており、ほぼ同じであった。最大瞳孔収縮率も、被験者全員が、左右の眼で値の差が 4%以内に収まっており、ほぼ同じであった。また、瞳孔収縮速度と再拡張速度については、各被験者で違う結果が得られたが、各被験者の左右の眼では大きな差がなかった。

被験者 D～H の対光反応測定時における瞳孔径の変化は、付録 J に譲るが、そのうち、瞳孔径変化データの結果の代表例として、得られた被験者 D の両眼、被験者 G の左眼、被験者 F の右眼の瞳孔径変化を、図 5.1～図 5.4 に示す。

まず、図 5.1、図 5.2 の被験者 D の対光反応時における瞳孔径変化を見ると、左眼、右眼ともに同じような変化をしていることがわかる。眼の特性上、健常者の瞳孔は同じ変化をする<sup>[14]</sup>ため、正しく計測されていると思われる。しかし、他の被験者とは違い、計測開始直後から緩やかに瞳孔が収縮している。このことを確認するために録画した眼球のビデオ映像を観察し、実際に瞳孔が緩やかに収縮していることを確認した。被験者 D が計測開始直後から緩やかに瞳孔が収縮していた原因には、対光反応ではなく心理的要因が関わっていると考えられるが、その具体的な要因は特定できなかった。

ところで、計測の手順で述べたように、計測を行う前には眼球画像の二値化レベルを調整して瞳孔のみが白くなるようにしている。しかし、五円玉の穴を計測するときとは違い、人の眼では眼球表面での赤外線 LED の反射像、睫毛、眼瞼等の影響を受け、うまく二値化レベルを調整できず、これらがノイズとなってしまうことがある。図 5.1 と図 5.2 を比較してみると、右眼側で得られた瞳孔径変化データ(図 5.2)の方が、左眼側で得られた瞳孔径変化データ(図 5.1)に比べて小さな変化が多く粗いデータになっていることがわかる。これは、右眼側の二値化レベルが適切に調整できなかったことを示している。しかし、人の眼を計測する場合には、前述のような要因で二値化レベルを完全に合わせるのは非常に難しい。例えば、図 5.3 に示す被験者 G の左眼のよう



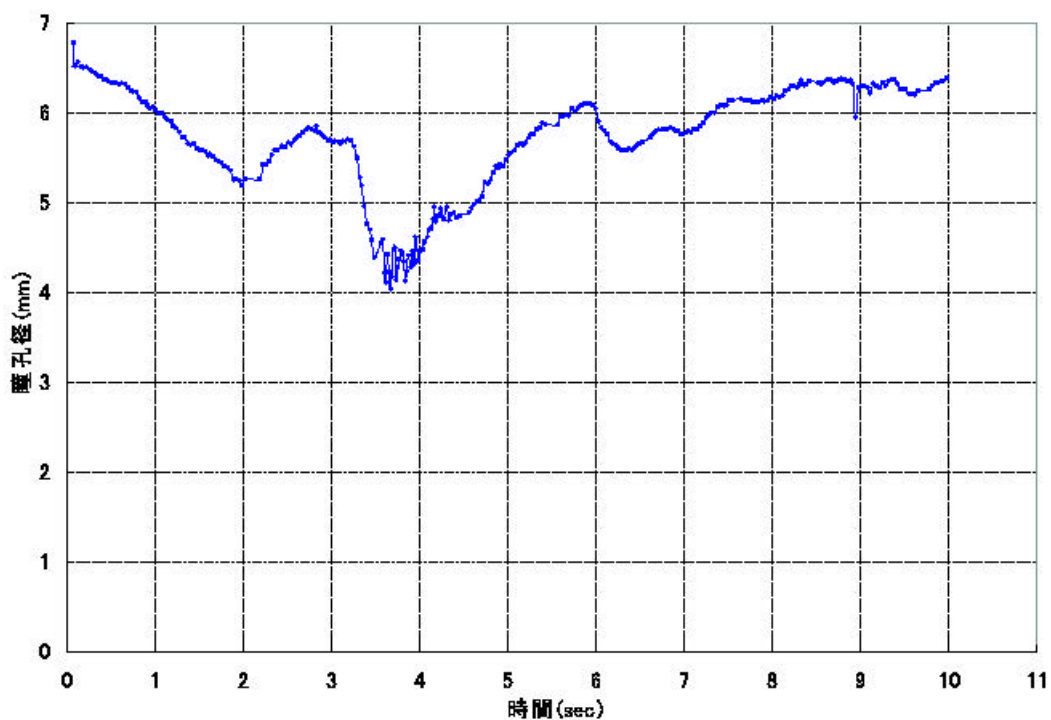


図 5.1: 被験者 D の対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化

なノイズのない計測データもあれば、図 5.4 に示す被験者 F の右眼のように 2 点だけがうまく計測できていないデータが得られる場合もある。計測の際には、事前に注意深く二値化レベルを調整する必要がある、さらに図 5.4 に示したような突発的なノイズが入ったデータを計測した場合には、計測指標を求める際にそれら取り除く必要があることが分かった。

なお、実験全体としては、約 10 秒間の計測時間、約 2 ルクスの実験環境、約 300 ルクスの照度をもつ白色 LED による眼に照射された光量の計測条件は、対光反応時における瞳孔径の変化を計測する上で妥当なものであった。

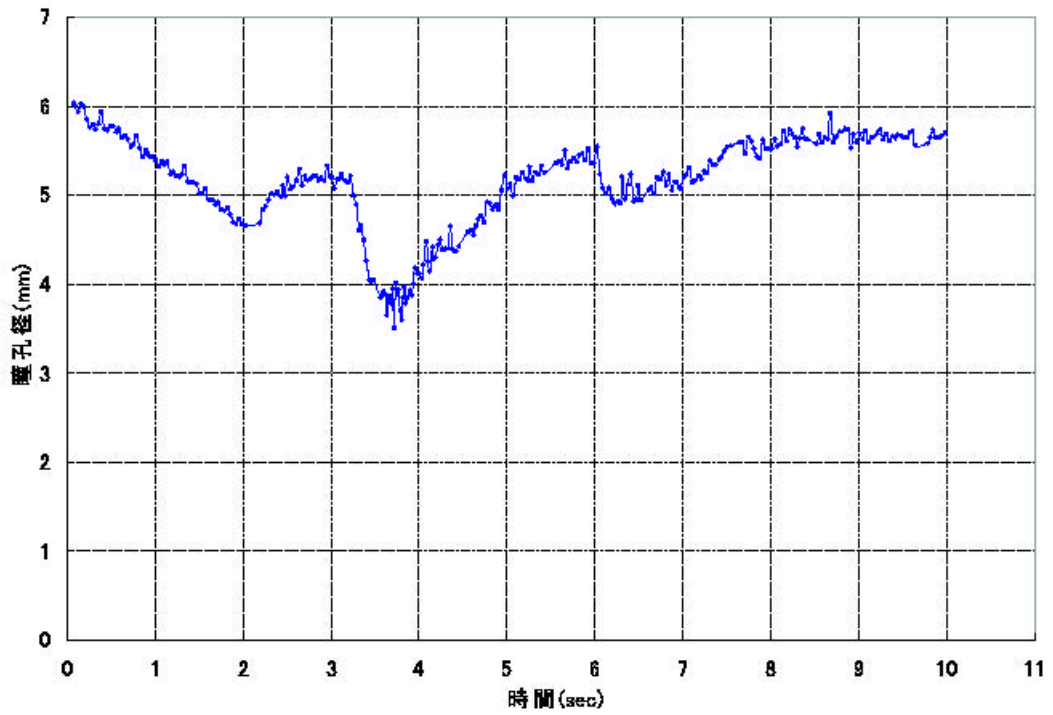


図 5.2: 被験者 D の対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化

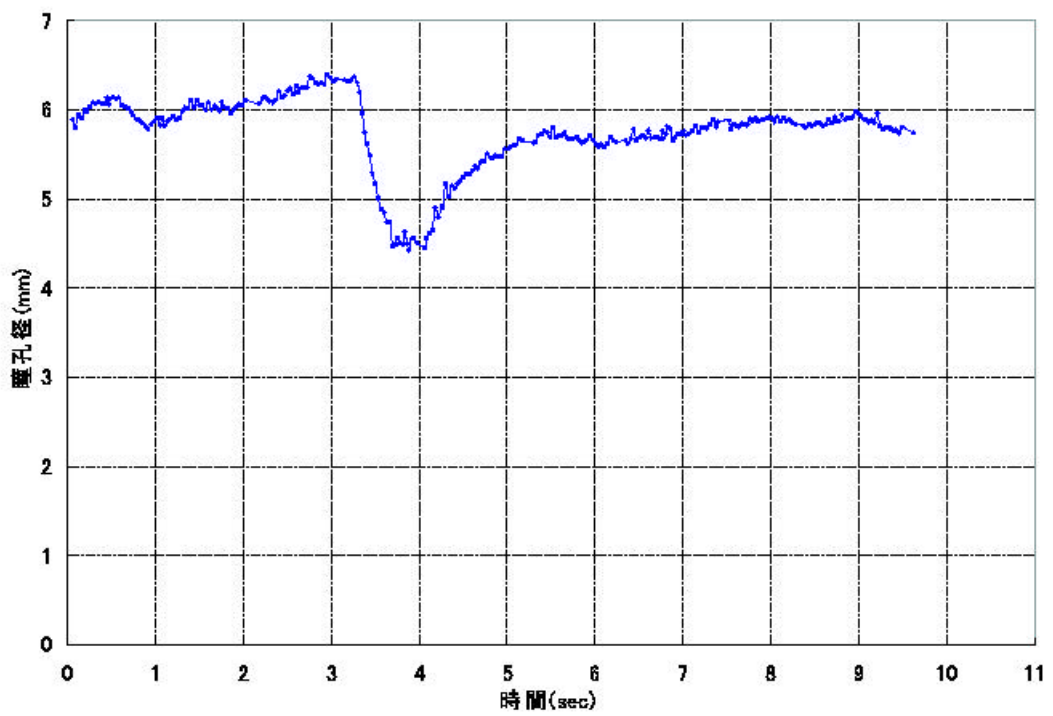


図 5.3: 被験者 G の対光反応測定時における左眼の瞳孔径の変化

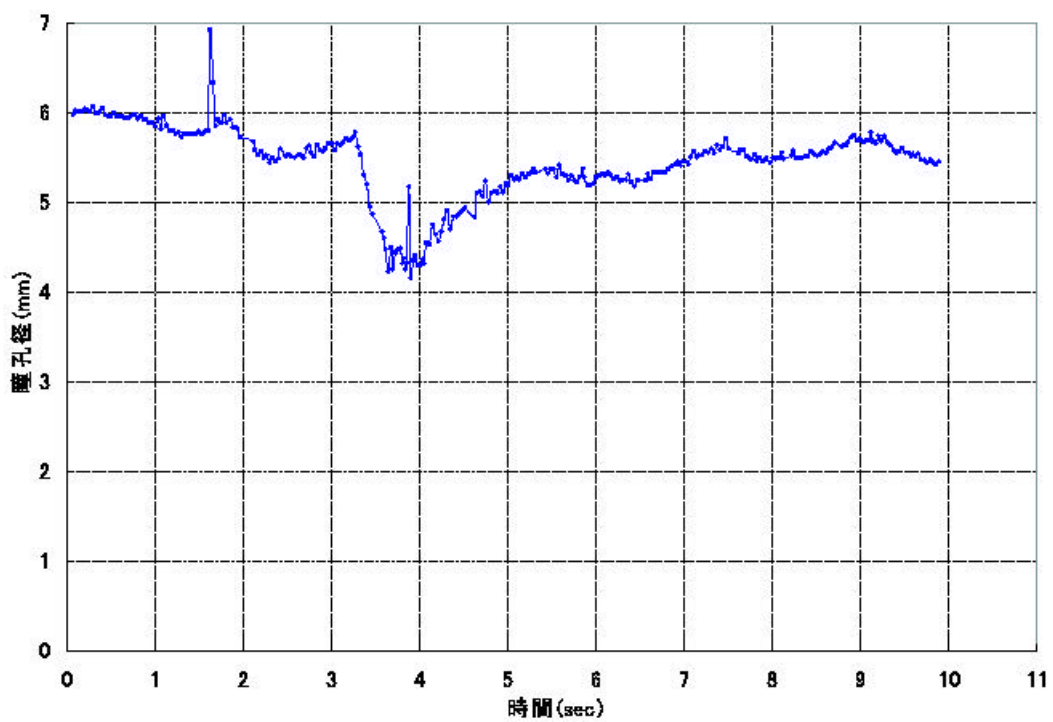


図 5.4: 被験者 F の対光反応測定時における右眼の瞳孔径の変化

## 5.3 眼の追従運動計測実験

4.5 節で述べた追従運動測定システムを用いた脳機能障害に関するスクリーニング検査を想定して、被験者実験を行った。

### 5.3.1 実験の目的

実験の目的は、以下の2点である。

- 2 実験の結果として得られた計測指標のデータを解析し、評価する。
- 2 スクリーニング検査として実際に計測することを想定し、計測全体の手順や方法の問題点を抽出する。

### 5.3.2 実験の方法

#### 実験システム

実験システムは、4.4 節で述べた、本研究で開発した追従運動測定システムを用いる。ただし、計測条件は以下のように変更している。

#### 計測条件の変更

4.5 節の追従運動測定システム評価実験において計測条件に関し2つの問題点が見つかった。その問題点と本実験における計測条件の変更について述べる。

- 2 4.5.2 項で示した計測シーケンスの眼の追従運動計測時間（約 39 秒間）が長すぎる。

被験者が眼を開けたまま長時間ターゲットを追えば、眼が乾いて瞬目しがちになるため、計測時間を短くする必要がある。そこで、追従運動測定の際には、ターゲットの移動速度が次第に速くなっていく映像を提示するパターン1と、ターゲットの移動速度が次第に遅くなっていく映像を提示するパターン2の二つに分けて計測することにより、1回に要する計測時間を短くした。

- 2 ターゲットの移動する速さが速すぎる。

これは、4.5.3 項の追従運動測定システム評価実験の結果と考察で述べたが、脳機能障害のスクリーニング検査として眼の追従運動の限界速度を計測する目的では、

ターゲットの速さは 20 °/sec までで十分である。ターゲットの移動速度を不必要に速くして計測すれば、それだけ計測時間が長くなる。そこで、今回の実験では、計測時のターゲットの移動速度を 20 °/sec までとした。

## 計測シーケンス

計測開始前に ES-HMD のディスプレイに黒色の背景の中央に白色の十字型をしたターゲットを提示する。

追従運動測定システムのパターン 1 (ターゲット増速時) では、そのターゲットが 3 °/sec (中央から左端へ)、4 °/sec (左端から右端へ、以下左端と右端をターゲットは往復)、6 °/sec、8 °/sec、10 °/sec、12 °/sec、15 °/sec、17.1 °/sec、20 °/sec (左端で終了) と左右に視野角度 24 °の範囲を動く様子の映像を提示し、その間の被験者の視点位置を約 26 秒間計測する。

また、追従運動測定システムのパターン 2 (ターゲット減速時) では、そのターゲットが 20 °/sec (中央から左端へ)、20 °/sec (左端から右端へ、以下左端と右端をターゲットは往復)、20 °/sec、20 °/sec、20 °/sec、20 °/sec、17.1 °/sec、15 °/sec、12 °/sec、10 °/sec、8 °/sec、6 °/sec、4 °/sec、3 °/sec (右端から中央へ) と左右に視野角度 24 °の範囲を動く様子の映像を提示し、その間の被験者の視点位置を約 31 秒間計測する。ここで、追従運動測定システムのパターン 2 (減速時) において、計測開始後のターゲットの移動速度をしばらく 20 °/sec にしたのは、被計測者の眼をその速度に慣れさせるためである。

なお、計測のサンプリングタイムは、パターン 1、パターン 2 とも約 34msec/回である。

## 計測の手順

計測の手順を以下に示す。ここでは、ターゲットの提示パターンをパターン 1、パターン 2 の両者とも 2 回ずつ提示し、その際の瞳孔中心位置を計測する。なお、本計測は前述の対光反応計測の後に続けて行う。

1. 追従運動測定システムのパターン 1 (ターゲット増速時) を起動する。
2. 計測中の眼球の映像をデジタルビデオデッキで記録するため、録画を開始する。
3. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に被験者の眼球中心位置の計測を開始する。

4. 計測終了後、2回目の計測を行うため、追従運動測定システムのパターン1(ターゲット増速時)を再び起動しする。
5. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に被験者の視点位置の計測を開始する。
6. 計測終了後、追従運動測定システムのパターン2(ターゲット減速時)を起動する。
7. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に被験者の視点位置の計測を開始する。
8. 計測終了後、2回目の計測を行うため、追従運動測定システムパターン2(ターゲット減速時)を再び起動しする。
9. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に被験者の視点位置の計測を開始する。
10. 計測終了後、デジタルビデオデッキの録画を止める。

### 5.3.3 実験の結果と考察

4.5.3 項の追従運動測定システム評価実験の結果と考察で述べた方法により、本測定で得られた計測データから計測サンプリングごとに3サンプリングの移動平均をとった時の眼球運動の速さを出し、その速さが  $30^\circ/\text{sec}$  を超える眼球運動を全てサッケード運動と見なすことにした。ただし、この際、ターゲットが移動方向を変えた直後の眼球運動は除外する。また、測定時のばらつきを考慮して、ターゲットの速さが同じで、かつ左右両眼ともにサッケード運動をしていることが確認できれば、被験者は、その時、サッケード運動をしていたものと見なすことにした。1回目の増速時と2回目の増速時では、ターゲットの速さに追従することができずに初めてサッケード運動をした時のターゲットの速さ、1回目の減速時と2回目の減速時では、最後にサッケード運動をした時のターゲットの速さを求めた。その結果を表5.8に示す。また、実験で得られた被験者D~Hの移動平均をとった眼球運動の速さを付録Kに示す。

表5.8より、被験者Gを除く全員が、パターン1(ターゲット増速時)には、1回目の計測より2回目の方が速い速度あるいは同等の速度まで追従運動できている。この中の被験者Gのパターン1の2回目の計測データで、ターゲットの速さが  $6^\circ/\text{sec}$  の時に、

表 5.8: 眼の追従運動計測実験の結果

被験者	1 回目の増速時	2 回目の増速時	1 回目の減速時	2 回目の減速時
被験者 D	8 °/sec	10 °/sec	8 °/sec	6 °/sec
被験者 E	6 °/sec	8 °/sec	6 °/sec	4 °/sec
被験者 F	12 °/sec	12 °/sec	3 °/sec	6 °/sec
被験者 G	12 °/sec	12 °/sec	10 °/sec	10 °/sec
被験者 H	8 °/sec	12 °/sec	12 °/sec	8 °/sec

眼球運動速度が 30 °/sec を少し上回ったためサッケード運動とみなしたが、8 °/sec、10 °/sec の時には、サッケード運動が確認されなかった。このことから考えて、本来被験者 G は、6 °/sec のターゲットをサッケード運動せずに追従できたはずである。しかし、被験者 G は、6 °/sec でサッケード運動をした。これから推測できることは、現れた被験者 G のサッケード運動は、ターゲットの動きに追従することができずに追従運動から自然に移行したサッケード運動をしたのではなく、ターゲットの動きを予測した意図的なサッケード運動であったということである。したがって、この被験者 G の計測データに現れた、ターゲットが 6 °/sec の時のサッケード運動は、ターゲットの速さについていけなかったことによるサッケード運動ではないので、ターゲットの速さについていけずに初めてサッケード運動をした時が 6 °/sec であったとは言えない。

表 5.8 では、パターン 1 (ターゲット増速時) では、一回目より二回目の方が、ターゲットを眼でサッケード運動せずによく追従できていることが分かる。これは、被験者が一回目の計測から、ターゲットの動きを知り、追従するターゲットの速さにうまく追従運動をしようとサッケード運動を抑えたためと考えられる。また、逆に、パターン 2 (ターゲット減速時) では、パターン 1 の時には追従運動できていた同じ速さの時においても、サッケード運動が見られ、被験者 F を除く全員が、一回目よりも二回目の方がターゲットがさらに遅く動く時にもサッケード運動がみられた。これは、1 回目のターゲットの動きを見たことで、被験者達は 1 回目に追従運動することができなかった高速にターゲットが動く時に視野を安定させて見えるように眼を調節しようとしたため<sup>[24]</sup>、速く動くものに眼が慣れてしまい、その後の遅く動くターゲットに対し、追従運動ではなく、サッケード運動混じりの追従運動をしてしまった可能性があるが、本当の理由は分からない。

この実験全体としては、1 回あたりの計測時間が少し長く、被計測者が計測の間眼

を開けているのが難しかった。また、現行の追従運動計測システムでは、基本的に、左右の移動毎にターゲットの移動速度を変化させているため、ターゲットの速さが速くなればなるほど、ターゲットのその速さでの眼の追従運動を計測する時間が短くなる。そこで、ターゲットの速さを一定にし、一定の時間ターゲットをみてもらい、計測時間内でサッケード運動をした割合、追従運動をした割合を求め、ターゲットの速さごとにその割合の違いを比較する方法が、眼の追従運動計測として厳密な評価ができると思われる。

## 5.4 一点注視計測実験

4.6 節で述べた一点注視測定システムを用いた脳機能障害に関するスクリーニング検査を想定して、被験者実験を行った。

### 5.4.1 実験の目的

実験の目的は、以下の2点である。

- 2 実験の結果として得られた計測指標のデータを解析し、評価する。
- 2 スクリーニング検査として実際に計測することを想定し、計測全体の手順や方法の問題点を抽出する。

### 5.4.2 実験の方法

#### 実験システム

実験システムは、4.6 節で述べた、本研究で開発した一点注視測定システムを用いる。一点注視測定システムは、システム評価実験の際に特に問題点がなかったため、計測条件は変更していない。

#### 計測シーケンス

計測開始後、4.6 節で述べたように、図 4.40 に示すような黒い背景の画面の中央に白色の十字型のターゲットが静止した映像を被験者に提示し、その間の被験者の瞳孔中心位置を 10 秒間計測する。



## 計測の手順

1. 一点注視測定システムを起動する。
2. 計測中の眼球の映像をデジタルビデオデッキで記録するため、録画を開始する。
3. 計測開始キーを押して、ターゲットを提示すると同時に被験者の瞳孔中心位置の計測を開始する。
4. 計測終了後、デジタルビデオデッキの録画を止める。

### 5.4.3 実験の結果と考察

4.7.3 項で述べたように、

- 2 瞳孔中心の移動範囲：瞳孔中心の移動範囲が  $0.6\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  以内であること  
かつ
- 2 眼球運動の速さ：その間の眼球運動の速さが  $10^\circ/\text{sec}$  以下であること

の条件を満たしているときを注視しているものとして判別すると定義した。

この条件下で、計測時の瞳孔中心の移動範囲、および眼球運動の速さを求めて、実験の結果を表 5.9 に示す。なお、計測データは付録 L に譲る。ただし、表 5.9 中で、眼球運動の速さを求める際に必要な瞳孔中心位置から視野角への換算には、各被験者毎に、眼の追従運動計測実験の時に求めた値を用いた。

表 5.9 に示すように、被験者 D、F、G、H は、眼球運動の速さが数回  $10^\circ/\text{sec}$  を上回っている。これらの計測の際にノイズの影響がなかったどうかを、計測時に同時に測定していた瞳孔径の変化から検討する。これらの具体的な計測データは付録 L に譲り、以下ではその結果のみを述べる。被験者 D は両眼ともほとんどノイズがのっていない。また、被験者 F の左眼には全体的に粗いノイズがのっており、左眼の瞳孔中心位置計測にもそれが影響している可能性が高い。被験者 G も同様に、計測中の瞳孔径の変化を確認すると、左眼に細かいノイズがのっており、そのノイズが左眼の注視点に影響を及ぼしている可能性が高い。また、被験者 H の時も同様に、細かいノイズを瞳孔径の変化から確認している。

一方、被験者 E は、瞳孔中心の移動範囲、眼球運動の速さとも 4.7.3 項で述べた注視の定義に該当せず、注視できていないと判別できる。計測時の被験者 E の瞳孔中心位置を図 5.5(左眼)、図 5.6(右眼) に示し、眼球運動の速さを図??(左眼)、図 5.8(右眼) に

表 5.9: 一点注視実験の実験結果

被験者	瞳孔中心の移動範囲	眼球運動の速さ
被験者 D	両眼側とも定義した注視の範囲内に収まっている。	両眼側ともほとんどが 10 °/sec 以下であるが、数回 10 °/sec を少し上回ることもあった。
被験者 E	両眼側とも定義した注視の範囲内に全く収まっていない。	両眼側とも計測の途中で 10 °/sec を大幅に上回った速さをしばらく示した。
被験者 F	両眼側とも定義した注視の範囲内に収まっている。	左眼側で数回約 20 °/sec を示し、データの値が粗かった。しかし、右眼側は、1 回を除いては全て 10 °/sec 以下であった。
被験者 G	両眼側とも定義した注視の範囲内に収まっている。	左眼側で数回 10 °/sec を上回る値を示したが、右眼側は全て 10 °/sec 以下であった。
被験者 H	左眼側は、一点を除き、定義した注視の範囲内に収まる。また、右眼側は、定義した注視の範囲内に収まっている。	左眼側で数回 10 °/sec を上回る値を示したが、右眼側は、全て 10 °/sec 以下であった。

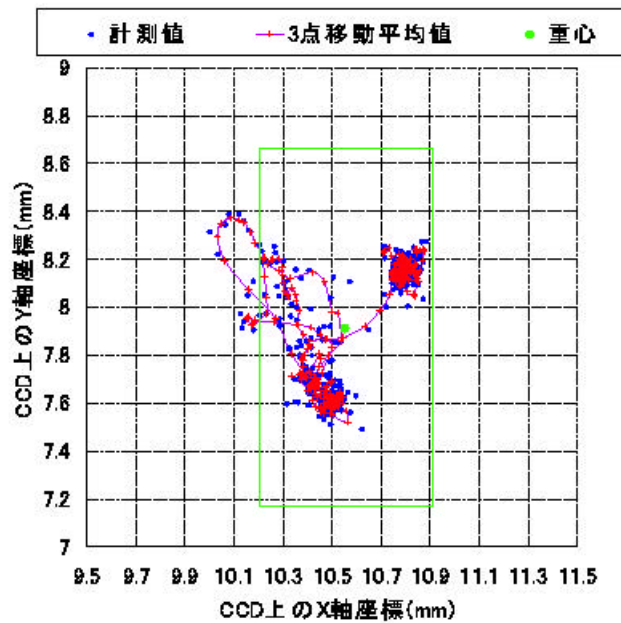


図 5.5: 被験者 E の左眼の瞳孔中心位置

示す。また、計測時の眼球のビデオ映像を観察すると、被験者 E の眼球は一点を注視した後、ゆっくりとドリフト運動していた。これより、被験者 E は一点注視計測時に、注視できていなかったと言える。また、逆に 4.7.3 項で述べた注視の定義は、妥当なものであったと考えられる。

実験では、計測時のノイズによる影響を考慮しなければならないが、注視している時の眼球運動の速さはほとんどが  $10^{\circ}/\text{sec}$  以下であり、定義した注視の範囲も妥当なものであったと言える。また、この定義によると、被験者 E を除いて、他の被験者全員が約 10 秒間、ターゲットを注視し続けることができていた。ただし、脳機能障害のスクリーニング検査を考えると、計測時間については、脳機能障害のある被験者により検証実験を行い、診断に適切な時間を検討する必要がある。

## 5.5 アンケートの回答結果

本節では、被験者実験における実験後のアンケートの回答から課題点を述べる。

### 2 ES-HMD の装着方法について

図 5.9 は、被験者 E の計測時の様子である。アンケートの回答から ES-HMD を被験者が手で支えていた理由は、ずれ落ちそうだったためであることが分かった。つまり、本研究で用いた ES-HMD は、ヘッドユニットが 230g と比較的軽量である

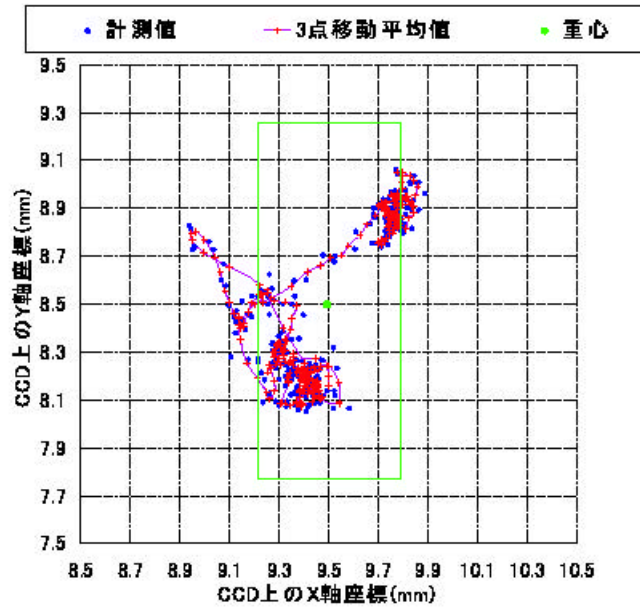


図 5.6: 被験者 E の右眼の瞳孔中心位置

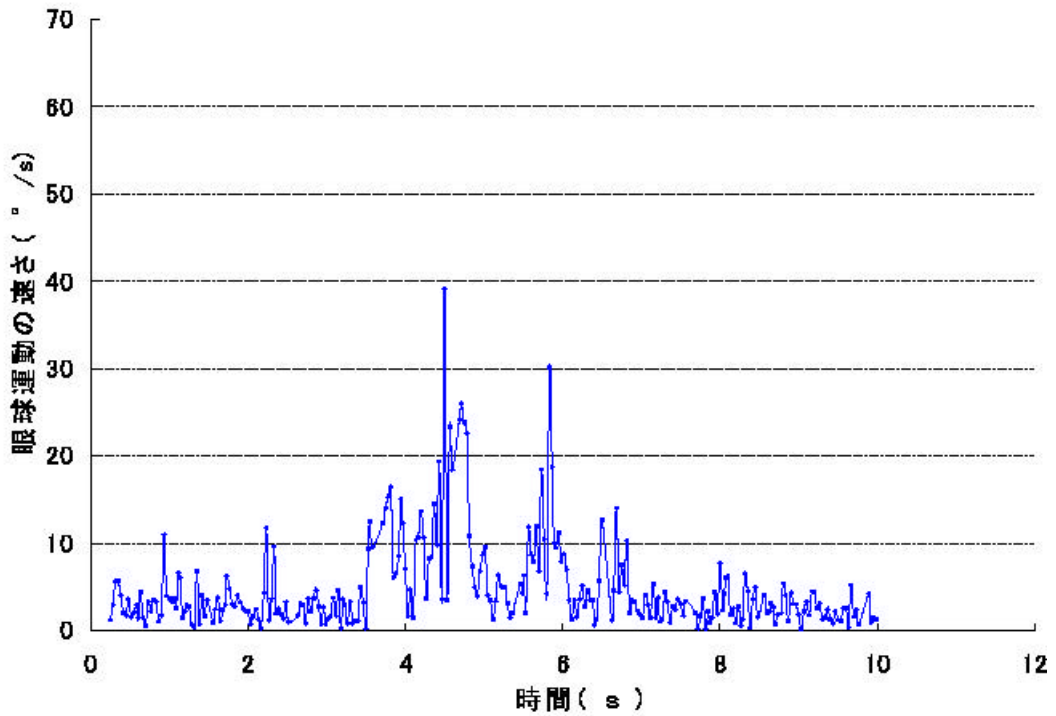


図 5.7: 被験者 E の左眼の眼球運動の速さ

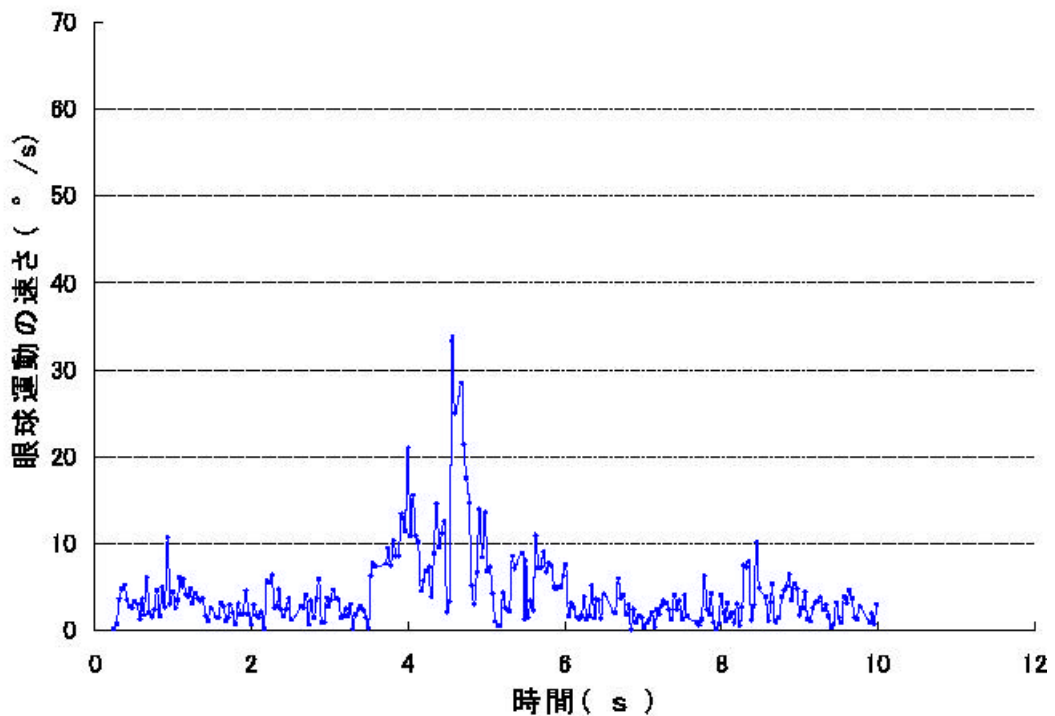


図 5.8: 被験者 E の右眼の眼球運動の速さ

にもかかわらず、装着時に前後のバランスが悪く、ずれ落ちないためには手で支えなければならなかった。これは、簡便なスクリーニング検査を実現するためには、解決しなければならない重要な課題である。

## 2 十字型のターゲットについて

実験後のアンケートでは、ほとんどの被験者が、ES-HMD に表示された画面中の十字型のターゲットが少しぼやけて見えたと回答していた。これは、ES-HMD の画像表示解像度やフォーカスの問題と考えられる。これにより、眼の追従運動の計測や注視指示時の眼球運動の計測で、被験者の視線がふらつくことが考えられる。

## 2 計測時の開眼時間について

本研究で開発した測定システムでは、計測時に瞬眼や閉眼するとその間の計測ができない。そのため、計測時には開眼しているように指示している。しかし、長時間の開眼は被計測者にとって大きな負担になる。そこで、計測中の開眼時間は非常に重要な要素となる。本研究では、対光反応、注視の計測において、10 秒間を設定した。実験後のアンケートの回答によると、眼を開けていることができると回答した時間は、被験者 E を除き、10 秒以上であり、本研究において対光反応、



図 5.9: 計測中に ES-HMD を手で支える被験者 E

注視で設定した時間に無理はなかった。しかし、追従運動計測では、ターゲット増速時の場合で約 26 秒間、ターゲット減速時の場合で、約 31 秒間であったため、この計測では、被験者の眼に負担がかかっていたと思われる。

## 5.6 まとめと今後の展望

本研究では、脳機能障害のスクリーニング検査を想定して、対光反応測定システム、追従運動測定システム、一点注視測定システムを用いて被験者実験を行った。対光反応測定の実験では、対光反応時における瞳孔径を計測し、計測開始から 3.0 秒後の白色 LED からの光刺激により瞳孔が収縮し、再拡張する様子をとらえることができた。眼の追従運動測定の実験では、ターゲットの速さが徐々に速くなっていく場合とターゲットの速さが徐々に遅くなっていく場合の二通りのパターンの映像を被験者に見せ、被験者にそのターゲットを眼で追跡してもらった。その結果、ターゲットを徐々に遅くしていく場合より、ターゲットを徐々に速くしていく場合の方が、眼はターゲットをより速い速さまでサッケード運動をすることなく追従運動することができることが分かった。また、一点注視測定の実験では、1 名の被験者を除き、その他の被験者全員がターゲットを注視していたという結果が得られた。また、実験の結果から、4.5.3 項で定義した注視の範囲から得られた注視しているという判断と、実験中に記録した眼球画像のビデオ映像で確認した注視している結果とが一致し、定義した注視の範囲が妥当な範囲であったことがわかった。

また、上記の実験よりわかった各測定の評価と問題点を述べる。

## 2 瞳孔対光反応測定

瞳孔対光反応測定では、対光反応時の瞳孔径の変化を計測できたが、場合によっては計測がうまくできないときがあった。計測がうまくできない場合は、瞳孔径データは、波打っているものや、突発的にデータの値が大きくなっているものがあった。これは、計測前に二値化レベルの調整を行ったが、赤外線 LED による反射像、睫毛等の影響により、計測データにノイズがのるためと思われる。上述のように、計測者が瞳孔の二値化画像を見ながら制御 BOX のつまみで二値化レベルを適切に調整するのは非常に難しい。これを改善するには、二値化レベルを自動調整することや二値化レベルが適切に調整できているかどうかを示す何らかの視標を用いて調整すること等が考えられる。

## 2 目の追従運動測定

瞳孔対光反応測定で述べた、二値化画像のノイズに関することは、この計測においても同様である。また、本測定では、ターゲットの速さが徐々に速くなっていく場合とターゲットの速さが徐々に遅くなっていく場合の二通りのパターンの映像を被験者に見せ、その間の視点位置を計測する実験を行った。しかし、どちらの場合も、ターゲットの速さが速くなるとその速さでの瞳孔中心位置の計測時間が短くなるため、特にターゲットの移動速度が速い時の追従運動、あるいはサッケード運動の割合を調べることができなかった。ターゲットの速さを一定にして、一定の時間ターゲットを見てもらい、計測時間内でサッケード運動をした割合、追従運動をした割合を求め、ターゲットの速さごとにその割合の違いを比較するような方法が有効であると思われる。

## 2 一点注視測定

瞳孔対光反応測定で述べた、二値化画像のノイズに関することは、この計測においても同様である。本研究では、画面中央で静止した十字型ターゲットを 10 秒間注視するように指示し、その間の瞳孔中心位置を計測した。注視の間、被験者は視線をターゲットに合わせているつもりだが、固視微動やドリフト等の眼球運動により、その視点位置は一定の範囲内で広がりを持つ。そして、注視時間が長ければ長いほど、注意を持続してターゲットを注視することが難しくなる。脳機能障害のスクリーニング検査に適用するためには、健常者だけでなく脳機能障害を持つ人を被験者とした検証実験により、注視指示時間を検討する必要がある。

実験全体を通して、被験者全員がES-HMDのヘッドユニットを装着して計測する際にずれ落ちないように手で支えていたため、被計測者の負担を軽減させるためにも、装着方法を改良する必要がある。また、一方で、アンケートの結果から、計測全体にかかった時間は短かったという回答が得られ、被験者全員が時間的に気軽に実験を受けることができたことが分かった。脳機能障害のスクリーニング検査の実用化に向けて、さらに短時間で簡便な方法を考案することは今後とも非常に重要である。



## 第 6 章 結論

本研究では、昨年度まで本研究室で開発されてきた ES-HMD を用いた脳機能障害のスクリーニング検査の実現へ向け、脳機能障害と視覚系指標との関連性を調べ、対光反応時の瞳孔径変化、追従運動時と注視時の視点位置計測を提案し、これらの計測の評価システムを開発した。そして、本研究で開発した測定システムの評価を行い、実験で得られた測定システムの問題点を改善した。さらに、脳機能障害のスクリーニング検査を想定して基礎的な被験者実験を行い計測方法の問題点を抽出し、スクリーニング検査への適用に向けての更なるシステムの改良を提案した。

第 2 章では、本研究の背景として、高齢社会と理想の共生社会について述べ、理想の共生社会を実現していくためには、近年著しく発展している情報技術を用いて、高齢者、障害者の自立した社会参画が必要であることを述べた。次いで、高齢化が進めば、脳機能障害者の数も増えていくことが予想され、脳機能障害を持つ人の社会参画の機会を増加させるためにはその早期発見、早期診断は重要であり、そのための簡便なスクリーニング検査が必要であることを述べた。そして、脳機能障害の代表例であるアルツハイマー症、精神分裂病、ADHD について調査した結果について述べた。以上の背景より、本研究の目的が、脳機能障害の視覚系指標を利用した検査手法の提案と基礎的な測定手法の考案、およびその測定システムの開発と計測方法の検証であることを述べた。

第 3 章では、関連研究として、視点位置検出および瞳孔径計測に関する従来手法について述べ、脳機能障害と視覚系機能に関する過去の研究事例について調べた結果を述べた。この結果より、計測する視覚系指標として、(1) 対光反応時の瞳孔径、(2) 移動指標追跡時の眼球運動、(3) 一点注視時の眼球運動を選定したことについて述べた。

第 4 章では、ES-HMD の仕様と選定した視覚系指標を計測するために開発した 3 つの測定システムおよび各システムの評価実験について述べた。瞳孔対光反応測定システムの評価実験の結果より具体的な計測指標として、対光反応時の潜時、最大瞳孔収縮率、瞳孔の収縮速度、瞳孔の再拡張速度を挙げ、それぞれを定義した。追従運動測定システムの評価実験では、ターゲット追従時の瞳孔中心位置より、追従運動時の計測指標として、眼球運動の速さを選定した。一点注視測定システムでは、注視時における瞳孔中心位置から、注視の定義を検討しその範囲を定めた。

第5章では、実際に脳機能障害のスクリーニング検査を想定してES-HMDを用いた被験者実験を行い、実験結果から計測手順やその方法の問題点を検討した。計測の際には、第4章の各システムの評価実験で判明した問題点を挙げ、それを改良した測定システムを用いた。

以上より本研究で得られた結果を以下に示す。

- 2 ES-HMDの実験結果に基づいて新たに瞳孔径計測機能を追加し、その機能評価を行った結果、十分な精度で瞳孔径を測定できることを確認した。
- 2 瞳孔対光反応を起こすために必要な光刺激提示機能として、白色LEDを用いた装置を開発し、十分な照度の光刺激を100msecだけ目に照射することを可能にした。また、瞳孔対光反応測定システムの評価実験において、この装置を用いることによって目の対光反応を誘発することができることを確認した。
- 2 被計測者に追従および注視のための映像を提示すると同時に、視点位置を計測するシステムを開発し、この測定システムの評価実験を行い、計測中の視点位置を十分な精度で計測することができることを確認した。
- 2 視角と眼球運動速度により定めた注視の定義が妥当であることを確認した。

以上の結果より、本研究で開発した3つの測定システムを用いることで、対光反応時の瞳孔径変化、追従運動時、注視時の視点位置の計測が可能となった。今後、この3つの測定システムを用いて、様々な検証実験を行い、ES-HMDを用いた脳機能障害の診断が、スクリーニング検査という形で社会一般に受け入れられることが期待できる。今後の課題を以下に示す。

- 2 瞳孔計測時における二値化レベルの適切な調整方法の確立
- 2 計測時間の短縮
- 2 判定基準の確立
- 2 ES-HMDの装着方法の改良

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究の方向性から研究の位置づけ、方法、論文のまとめ方等、細部にいたるまで、適切かつ暖かい御指導を頂きました吉川榮和教授に心から深く感謝いたします。

また研究全般にわたって親身になって直接御指導していただき、数々の適切なお助言を頂くなど、論文の執筆まで暖かく導いてくださいました下田宏助教授に心から深く感謝いたします。

本研究を進めるにあたって、研究の進め方、論文の書き方など様々な面でお世話になった石井裕剛助手に深く感謝いたします。

本研究を行うにあたって、至らないところの多い後輩に研究の数々のお助言を頂くなど、ES-HMDの機器の面で大変お世話になった松下電工株式会社、福島省吾氏、小澤尚久氏に深く感謝いたします。

本研究を進めるにあたって、数々のお助言、御指導をしていただいた内地研究員、長松隆氏に深く感謝いたします。

また、本研究を進めるにあたって、至らないところの多い後輩にプログラミングや研究について数々のお助言、御指導を暖かくして頂きましたエヌ・ティ・ティドコモ関西株式会社、米田賀一氏に深く感謝いたします。

研究を進める上で日頃何かとお世話頂いた谷友美秘書、吉川万里子秘書に心から感謝いたします。

貴重なお助言を常に頂きました博士課程の山本倫也氏、伊藤京子氏に心から感謝いたします。

研究室の同じ部屋で共に研究に励み、一緒に頑張った修士2回生の社領一将君、松崎剛士君に深く感謝いたします。

また、共に研究に励み、様々なところで協力し合った、修士2回生の神月匡規君、近藤寛子さん、高橋ともさん、早瀬賢一君に深く感謝いたします。

忙しい中、被験者実験、被験者実験の解析を手伝ってくれた修士1回生の越智和弘君に心から感謝いたします。

また、忙しい中、本研究の被験者実験に協力してもらった修士1回生の遠藤啓介君、小林隆君、鮫島良太君、新田和弘君、学部4回生の藤野秀則君、山崎雄一郎君に深く

感謝いたします。

そして最後に、様々な御支援、御助力をいただいた全ての方々に心から感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 日本経済新聞：日本経済新聞 2001 年 10 月 31 日付け夕刊, 第一面
- [2] 市川 宏伸、佐藤 泰三：ADHD 注意欠陥・多動性障害, 東京書籍, pp.13-17, pp.20-24, pp.75-82(2000).
- [3] 総務省統計局統計センター：平成 11 年 10 月 1 日現在推計人口,  
<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/1999np/index.htm>  
(2001 年 1 月 6 日、現在).
- [4] 国立社会保障・人口問題研究所:日本の将来推計人口，平成 9 年 1 月推計の中位推計,  
<http://www.ipss.go.jp/Japanese/newest/newesti91.html>  
(2001 年 1 月 6 日、現在).
- [5] シンビオ社会研究会：明日のエネルギーと環境、その続編, 日本工業新聞社, pp.18-19,26-36, (2001).
- [6] 三上 昭廣：精神分裂病,NOVA 出版, pp.24-110(2000).
- [7] 新潟大学脳研究所：痴呆 (大脳皮質の変性疾患),  
[http://brain.bri.niigata-u.ac.jp/home\\_st/resrc/disease/degen/cortex/dement/dement.html](http://brain.bri.niigata-u.ac.jp/home_st/resrc/disease/degen/cortex/dement/dement.html)  
(2001 年 12 月 13 日、現在).
- [8] 西村内科脳神経外科病院 医師 吉本 幸生：  
<http://www5a.biglobe.ne.jp/yuyo/shinryou/shinryou7.html>  
(2001 年 12 月 13 日、現在).
- [9] 千葉大学情報科学講座：精神分裂症,  
<http://cogsci.l.chiba-u.ac.jp/swada/kayama/node2.html>  
(2001 年 11 月 27 日、現在).

- [10] 宮本 信也、筑波大学心身障害学系：注意欠陥 / 多動性障害の診療,  
<http://www.d3.dion.ne.jp/ujjie/ADHD99.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [11] 宮本 信也、筑波大学心身障害学系：ADHD 児の場合,  
<http://www03.u-page.so-net.ne.jp/tc4/mikano/ADHD.htm>  
(2001年11月10日、現在).
- [12] 山田 光穂：最近の眼球運動の研究動向, 電子情報通信学会技術報告, vol.95, No.404,  
pp.145-152 (1995).
- [13] J.L.Andreassi : 心理生理学, ナカニシヤ出版 (1985).
- [14] 松永勝也 : 瞳孔運動の心理学, ナカニシヤ出版, p13,pp.42-50,pp96-127 (1990).
- [15] 史学敏, 郭怡, 福島 省吾, 内山 尚志, 福本 一朗 : 対フラッシュ光縮瞳反射を用  
いた新しいアルツハイマー型痴呆簡易検査, システム医用電子と生体工学, vol39,  
No.2, pp.102-108 (2001).
- [16] Lueck KL, Mendez MF, Perryman KM : Eye movement abnormalities during read-  
ing in patients with Alzheimer disease, *Neuropsychiatry Neuropsychol Behav Neu-  
rol*, pp.77-82(2000).
- [17] Bylsma Fw, Rasmussen DX, Rebok GW, Keyl PM, Brandt J : Changes in vi-  
sual fixation and saccadic eye movements in Alzheimer's disease, *Neuropsychiatry  
Neuropsychol Behav Neurol*. pp.77-82 (2000).
- [18] Ross RG, Olincy A, Harris JG, Sullivan B, Radant A : Smooth pursuit eye move-  
ments in schizophrenia and attentional dysfunction: adults with schizophrenia,  
ADHD, and a normal comparison group, *Biol Psychiatry*, pp.35-42 (2000).
- [19] Karatekin C, Asarnow RF: Exploratory eye movements to pictures in childhood-  
onset schizophrenia and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) , *J ab-  
norm Child Psychol*, pp.35-49 (1999).
- [20] Jacobsen LK 他 : 「Blink rate in childhood-onset schizophrenia: comparison with  
normal and attention-deficit hyperactivity disorder controls」 , *Biol Psychiatry*,  
pp.1222-1229 (1996).

- [21] Jacobsen LK 他 : Smooth pursuit eye movements in childhood-onset schizophrenia: comparison with attention-deficit hyperactivity disorder and normal controls ,*Biol Psychiatry*, pp.1144-54(1996).
- [22] Boger N, van der Meere J : Visual behaviour of ADHD children during an attention test: an almost forgotten variable.*Attention-Deficit Hyperactivity Disorder, J Child Psychol Psychiatry*, pp.525-532 (2000).
- [23] Ross RG, Hommer D, Breiger D, Varley C, Radant A : Eye movement task related to frontal lobe functioning in children with attention deficit disorder ,*J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, pp.869-874(1994).
- [24] 苧阪 良二他 ( 編 ) : 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版社, p.20,pp.102-108,pp.124-127,pp.285-302 (1993).
- [25] 米田 賀一 : Eye-Sensing HMD の開発と視線入力インタフェースに関する研究, 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻修士論文 (2000).
- [26] 朝隈 貞雄 : 医療と体内時計,  
[http://www2.justnet.ne.jp/hinaishi/new\\_page\\_73.htm](http://www2.justnet.ne.jp/hinaishi/new_page_73.htm)  
(2001年11月10日、現在).

# 付録目次

付録 A アルツハイマー症	付録 A-1
付録 B アルツハイマー症の診断基準	付録 B-1
付録 C アルツハイマー症の簡便な診断	付録 C-1
付録 D 精神分裂病に関する知見	付録 D-1
付録 E 精神分裂病の診断基準	付録 E-1
付録 F 注意欠陥多動性障害 (ADHD) に関する知見	付録 F-1
付録 G ADHD の診断基準	付録 G-1
付録 H 追従運動測定時における被験者 B と C の眼球中心位置の X 座標の時間変化	付録 H-1
付録 I ターゲットを計測中に左に移動させた時の瞳孔中心位置	付録 I-1
付録 J 被験者 D ~ H の対光反応測定時における瞳孔径の変化	付録 J-1
付録 K 追従運動計測実験の結果	付録 K-1
付録 L 一点注視計測実験の結果	付録 L-1
付録 M アンケート内容と実験中の注意事項	付録 M-1
参考文献	付録 M-6



## 付録 図 目 次

F.1	注意欠陥多動性障害の経過 . . . . .	付録 F-5
H.1	追従運動測定時における被験者 B の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化 . . . . .	付録 H-1
H.2	追従運動測定時における被験者 B の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化 . . . . .	付録 H-1
H.3	追従運動測定時における被験者 C の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化 . . . . .	付録 H-2
H.4	追従運動測定時における被験者 C の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化 . . . . .	付録 H-2
I.1	ターゲットを計測中に 0.5 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-1
I.2	ターゲットを計測中に 0.5 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-1
I.3	ターゲットを計測中に 1 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-2
I.4	ターゲットを計測中に 1 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-2
I.5	ターゲットを計測中に 3 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-3
I.6	ターゲットを計測中に 3 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-3
I.7	ターゲットを計測中に 6 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-4
I.8	ターゲットを計測中に 6 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置 . . . . .	付録 I-4
J.1	被験者 D の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-1
J.2	被験者 D の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-1
J.3	被験者 E の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-2
J.4	被験者 E の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-2
J.5	被験者 F の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-3
J.6	被験者 F の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-3
J.7	被験者 G の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-4
J.8	被験者 G の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-4
J.9	被験者 H の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-5

J.10	被験者 H の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化 . . . . .	付録 J-5
K.1	ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-1
K.2	ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-1
K.3	ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-2
K.4	ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-2
K.5	ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-3
K.6	ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-3
K.7	ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-4
K.8	ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-4
K.9	ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-5
K.10	ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-5
K.11	ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-6
K.12	ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-6
K.13	ターゲット減速時の被験者 E の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-7
K.14	ターゲット減速時の被験者 E の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-7
K.15	ターゲット減速時の被験者 E の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-8

K.16	ターゲット減速時の被験者 E の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-8
K.17	ターゲット増速時の被験者 F の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-9
K.18	ターゲット増速時の被験者 F の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-9
K.19	ターゲット増速時の被験者 F の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-10
K.20	ターゲット増速時の被験者 F の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-10
K.21	ターゲット減速時の被験者 F の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-11
K.22	ターゲット減速時の被験者 F の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-11
K.23	ターゲット減速時の被験者 F の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-12
K.24	ターゲット減速時の被験者 F の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-12
K.25	ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-13
K.26	ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-13
K.27	ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-14
K.28	ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-14
K.29	ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-15
K.30	ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-15
K.31	ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-16

K.32	ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-16
K.33	ターゲット増速時の被験者 H の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-17
K.34	ターゲット増速時の被験者 H の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-17
K.35	ターゲット増速時の被験者 H の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-18
K.36	ターゲット増速時の被験者 H の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-18
K.37	ターゲット減速時の被験者 H の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-19
K.38	ターゲット減速時の被験者 H の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目) . . . . .	付録 K-19
K.39	ターゲット減速時の被験者 H の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-20
K.40	ターゲット減速時の被験者 H の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目) . . . . .	付録 K-20
L.1	一点注視時の被験者 D の左眼の視点位置 . . . . .	付録 L-2
L.2	一点注視時の被験者 D の右眼の視点位置 . . . . .	付録 L-2
L.3	一点注視時の被験者 D の左眼の眼球運動の速さ . . . . .	付録 L-3
L.4	一点注視時の被験者 D の右眼の眼球運動の速さ . . . . .	付録 L-3
L.5	一点注視時の被験者 D の左眼瞳孔径変化 . . . . .	付録 L-4
L.6	一点注視時の被験者 D の右眼瞳孔径変化 . . . . .	付録 L-4
L.7	一点注視時の被験者 E の左眼の視点位置 . . . . .	付録 L-5
L.8	一点注視時の被験者 E の右眼の視点位置 . . . . .	付録 L-5
L.9	一点注視時の被験者 E の左眼の眼球運動の速さ . . . . .	付録 L-6
L.10	一点注視時の被験者 E の右眼の眼球運動の速さ . . . . .	付録 L-6
L.11	一点注視時の被験者 E の左眼瞳孔径変化 . . . . .	付録 L-7
L.12	一点注視時の被験者 E の右眼瞳孔径変化 . . . . .	付録 L-7
L.13	一点注視時の被験者 F の左眼の視点位置 . . . . .	付録 L-8
L.14	一点注視時の被験者 F の右眼の視点位置 . . . . .	付録 L-8

L.15	一点注視時の被験者 F の左眼の眼球運動の速さ	付録 L-9
L.16	一点注視時の被験者 F の右眼の眼球運動の速さ	付録 L-9
L.17	一点注視時の被験者 F の左眼瞳孔径変化	付録 L-10
L.18	一点注視時の被験者 F の右眼瞳孔径変化	付録 L-10
L.19	一点注視時の被験者 G の左眼の視点位置	付録 L-11
L.20	一点注視時の被験者 G の右眼の視点位置	付録 L-11
L.21	一点注視時の被験者 G の左眼の眼球運動の速さ	付録 L-12
L.22	一点注視時の被験者 G の右眼の眼球運動の速さ	付録 L-12
L.23	一点注視時の被験者 G の左眼瞳孔径変化	付録 L-13
L.24	一点注視時の被験者 G の右眼瞳孔径変化	付録 L-13
L.25	一点注視時の被験者 H の左眼の視点位置	付録 L-14
L.26	一点注視時の被験者 H の右眼の視点位置	付録 L-14
L.27	一点注視時の被験者 H の左眼の眼球運動の速さ	付録 L-15
L.28	一点注視時の被験者 H の右眼の眼球運動の速さ	付録 L-15
L.29	一点注視時の被験者 H の左眼瞳孔径変化	付録 L-16
L.30	一点注視時の被験者 H の右眼瞳孔径変化	付録 L-16

## 付録表目次

C.1 長谷川式簡易知能評価スケールHDS-R、アルツハイマー症診断(質問紙)付録C-2

F.1 注意欠陥多動障害に見られる行動・精神面の問題(合併症症状含む) . . . 付録F-3

## 付録 A アルツハイマー症

### アルツハイマー症<sup>[1][2]</sup>

現在わが国における痴呆老人はおよそ 125 万人に上ると推定されている。アルツハイマー症に関しては、発症年齢について初老期（40-65 才未満）の発症の場合を早発型アルツハイマー症、あるいは狭義のアルツハイマー症、老年期（65 才以降）発症の場合を遅発型アルツハイマー症、あるいは老年期痴呆と分類することが行われてきたが、最近では、病理学的にも病態機序の上からも両者に本質的な差はないとする考え方から、両者をあわせてアルツハイマー型痴呆という名で呼ぶことが多い。最近の疫学調査によると老年者で痴呆症のあるケース、すなわち老年期痴呆と呼べる状態の約 60%はアルツハイマー症とみてよく、残り約 30%が脳血管障害に基づく痴呆と考えられている。このことから、アルツハイマー症は特殊な疾患ではなく老年者によくみられる痴呆疾患であり、痴呆の最も一般的なものと言える。こうしたことから、アルツハイマー型痴呆は、老年人口が増えるにつれてさらに増えるものと見込まれている。

痴呆を起こしうる疾患には、アルツハイマー型痴呆や脳血管性痴呆の他にも、大脳皮質を侵す変性疾患として Pick 病、皮質基底核変性症、びまん性 Lewy 小体病がある。大脳基底核、脳幹を侵す神経変性疾患として、進行性核上性麻痺、ハンチントン病、パーキンソン病の一部があり、この他にも、内科疾患に伴うもの（甲状腺機能低下症などの内分泌疾患、ビタミン B<sub>1</sub>、B<sub>12</sub> などの欠乏症、腎疾患、肝疾患など）、正常圧水頭症、慢性硬膜下血腫、脳腫瘍、感染症（脳炎、梅毒、AIDS など）、薬物の副作用がある。これらの中には、治療可能な疾患も多く含まれているが、アルツハイマー型痴呆については、現在のところ抜本的な治療法は確立されておらず、主として介護の点に重点が置かれているのが現状である。

### アルツハイマー症の症状<sup>[2][3]</sup>

アルツハイマー症とその他の痴呆では、記憶力・判断能力・思考の過程に生じた問題によって、人が働いたり社会生活や家族に参加することが困難となる。雰囲気や性格も変わることがあり、またこれらの変化により、自制心やその他のものを損なう<sup>[3]</sup>。アルツハイマー症の基本的な症状としては

- 2 記銘、記憶障害
- 2 日時、場所に関する見当識障害
- 2 計算力の障害
- 2 理解力、判断力の障害

があり、何ヶ月も何年もかけて色々な段階を経て進行するが、少しずつ記憶・理性・判断力・言語能力を失い、ついには単純作業すらできなくなる。

#### アルツハイマー症の原因<sup>[4]</sup>

アルツハイマー症の原因については、はっきりとは分かってはいないが、アルツハイマー症は脳が全体的に障害される全体的な病気である。脳機能のうち、認識の中樞は頭頂葉、視覚の中樞は後頭葉、側頭葉は記憶、判断するというのが前頭葉、と大体大きく役割分担している。その内側に巻き込むようにして海馬という記憶の最も大事なところがある。アルツハイマー症は海馬から大脳の灰白質にある神経細胞が障害されて死んでいくものであり、脳が萎縮していく病気である。

#### アルツハイマー症の危険因子<sup>[5][6]</sup>

アルツハイマー症を引き起こしているのではないかと考えられている危険因子には次のようなものが挙げられる。

##### 1. 頭部外傷

交通事故をはじめとする事故によって頭部を打撲したために脳が損傷されることをいうが、数年を経て痴呆の症状が現れることがある。最近の研究では、頭部外傷による脳の変化がアルツハイマー病によるものと同様であると言われている。それはアルツハイマー病の診断基準になる脳の老人斑を構成する物質、アミロイドが頭部外傷でも増加するというものである。

##### 2. 性格

アルツハイマー病の人は健康的な老人に比べて、「同調型」( 社会的、開放的、行動的、明るい ) や「執着型」( 責任感が強い、義理堅い、頑張り屋 ) が少なく、「感情型」( 感情的、自己中心的、短気 ) などの傾向がみられるという研究報告がなされている。



### 3. 出生時の母親の年齢

母親の年齢が40歳以上のときに出生した人のアルツハイマー病発病率は、そうでない人の約4.7倍多いとも言われている。

### 4. 遺伝

65歳以前に発症するアルツハイマー病の人にはまれに遺伝性があると報告されている。

### 5. 加齢

アルツハイマー症有病率は65歳で1000(人×年)当たり1.2と低いですが90歳以上では63.5と急増する。この値は世界的にあまり大きな差はなく、発病は年齢とともに急増するが、75歳を過ぎると新たに加わる患者の増加割合は減少する。

### 6. 女性

1000(人×年)当たりの男女別罹患率を比べると、男性で10.5～15.6、女性で15.2～19.4となっていて、男性に比べて女性は約1.5倍アルツハイマー症になりやすい。

### 7. 痴呆の家族歴

アルツハイマー症のうち、いくつかのタイプは遺伝する。家族の誰かがアルツハイマー症を発症していたら、家族の他の人もアルツハイマー症を発症する可能性が高いと言える。

### 8. ダウン症候群

ダウン症候群にかかっている人はアルツハイマー症になる可能性が高い。ダウン症候群にかかっている人の近親も、その危険性を持っている。

### 9. 喫煙

現在まで喫煙を継続している群は、非喫煙群に比べアルツハイマー症発症に有意に相関している(相対危険率1.74)。特に、男性は3.17と女性の1.50に比べ相関関係が強かった。

### 10. アルミニウム

痴呆とアルミニウムの関係は古くから言われていたことであるが、腎透析患者に多発した透析痴呆の原因が透析液などに混入していたアルミニウムによるものと判明し、アルミニウムが脳にはいると痴呆を起こすことが証明された。

## 11. 不活発な生活

頻繁に活動する神経細胞は活力に満ち、活動していない細胞は死にやすくなる。すなわち、脳の中の神経回路や機能を維持していくためには、常に活動していることが必要である。これは、必ずしも「頭を使う」活動だけではなく、「体を使う」活動も同様である。

このほか国内外で飲酒の習慣をはじめ、さまざまな危険因子について研究が現在すすめられているが、アルツハイマー症になるはっきりとした危険因子は痴呆とダウン症候群の家族歴だけである。

### アルツハイマー症の診断<sup>[3][2][7]</sup>

アルツハイマー症の診断に際して医師が行う検査には、病歴と家族歴に関する質問、身体検査、精神状態の検査、画像診断がある。

#### 1. 病歴と家族歴

病歴を調べる際に医師が尋ねる質問は次のような内容である。

- 2 いつ、どのような問題がおこりましたか。
- 2 症状は段階的に進行していますか、それとも少しずつ悪くなっていますか。
- 2 これらの症状は日によって変化していますか。
- 2 どれぐらいの期間これらの症状が続きますか。

これらの質問の他に、医師は過去および現在の医学的な問題と、他の家族の人がアルツハイマー症またはその他の痴呆にかかっているかどうかを尋ねる。

#### 2. 身体的診察

体の検査により医学的な問題が痴呆症状を引き起こしているかどうか分かる。迅速な処置により取り除ける症状もあるため、この検査は大切な検査である。この検査には、X線CT検査がその代表的診察として挙げられる。

#### 3. 精神機能の検査

医師は患者が一人で生活する能力に関する質問を行う。患者の家族や親しい友人に患者が次のような活動をどのようにこなしているかについて尋ねる場合もある。

- 2 小切手を書く、勘定を支払う、小切手帳の残高照会を行う。

- 2 一人で衣類・食料や日用雑貨品を買いに行く。
- 2 特殊な技能訓練を必要とするゲームをする、その他、趣味に取り組む。
- 2 湯を沸かし、コーヒーを入れ、ストーブを消す。
- 2 テレビ番組、本、雑誌に集中し、理解し、そしてそれについて論じる。
- 2 約束、家族の行事、休日、服薬することを覚えている。
- 2 遠方に旅行にでる、車に乗る又は公共交通機関を利用する。

患者の家族や親しい友人がこのような問題に答えられないこともある。そのようなときは、医師は実際にその一連の小作業をするように言う。これを動作検査と言う。

#### 4. 精神状態の検査

3項の質問の他に患者の精神状態を調べるため、2、3テストを行う。これらのテストは2、3問の簡単な質問である。それらは見当識・注意力・記憶力及び言語能力といった精神機能の検査である。年齢、教育水準、文化的影響が精神状態の検査結果に影響を及ぼすことがある。医師はこれらの要因を結果の解釈上で十分考慮する。

#### 5. 画像診断

MRIによるX線CTでは、一般的な診断からは得にくい小さな血管障害や梗塞の拡がりや、さまざまな断面で骨の影響なしにみつけることができるほか、海馬付近の萎縮を前額断面でみることができ、アルツハイマー症の脳萎縮を早く発見できる利点がある。正常な人の脳に比べ、アルツハイマー症の患者の脳は、記憶の中枢である「アンモン角」や、記憶や判断力に関係する「頭頂葉」が萎縮している。画像診断には、このMRIによるX線CTの他に、海馬や頭頂葉の血流低下が確認されるはずであるXe-CT、ゼノンCTがある。この検査は、患者の協力がいること、検査費が高いこともあり一般的ではない。

#### アルツハイマー症の診断基準<sup>[6][7]</sup>

痴呆の診断を行う時の全般的な診断基準としては、アメリカ精神医学協会による診断・統計マニュアル改訂第3版(DSM-III-R)が広く使用されている。一方、アルツハイマー症の診断基準としては同マニュアル第4版(DSM-IV)が一般的である。付録Bに

DSM-IV を示す。また、アルツハイマー症の早期診断のため、患者の家族に患者の行動に関するアンケートを実施し、患者の痴呆の程度を調べる簡便な評価法として、わが国では長谷川式簡易知能評価スケール (HDS-R) がよく用いられている。付録 C に長谷川式簡易知能評価スケールを示す。この他、簡便な検査には、時計描画検査、積み木検査がある。これらの検査についても付録 C に示す。

# 付録 B アルツハイマー症の診断基準

## DSM-IV (アルツハイマー症の診断基準)

A. 以下の2項目によって特徴づけられる多発性の認知機能障害が進展する

1. 記憶障害 (新しい情報の学習の障害と、すでに学習していた情報の想起の障害)

2. 次の認知機能の障害が一つ以上ある：

a. 失語 (言語の障害)

b. 失行 (運動機能は障害されていないのに、運動行為が障害される)

c. 失認 (感覚機能は障害されていないのに、対象物の見分けができない)

d. 統括・遂行する能力の障害 (たとえば立案、組織化、配列、描像の能力)

B. 上記の基準 A(1), A(2) のそれぞれが原因となって、社会的活動あるいは職業的な活動に重要な障害を引き起こし、病前の機能レベルから有意に低下する

C. 経過は潜行性に発症し、認知機能障害は止まることなく進行する

D. 上記 A(1), A(2) に示した認知機能の障害は、次の (1) ~ (3) のいずれかが原因になって引き起こされたものではない

1. 記憶と認知に進行性の障害を生じる他の中枢神経疾患

(例：脳血管障害、Parkinson 病、Huntington 病、硬膜下血腫、正常圧水頭症、脳腫瘍)

2. 痴呆を出現させることが知られている全身性疾患

(例：甲状腺機能低下症、ビタミン B12 欠乏症、葉酸欠乏症、ニコチン酸欠乏症、高 Ca 血症、神経梅毒、HIV 感染)

### 3. 外因性物質による痴呆

E. 上記の障害は、意識障害（せん妄）の期間中だけに出現するものではない（すなわち、意識清明時にも出現している－訳者註）

F. 障害の説明が、別の主要精神疾患（例：うつ病、精神分裂病など）によって、より合理的になされるものでない

発症年齢と主要症状に基づく病型分類

発症年齢による分類

#### 2 早発型

65歳以下で発症（訳者註－初老期発症の狭義の Alzheimer 病）

#### 2 晩発型

65歳以降に発症（訳者註－ Alzheimer 型老年痴呆）

これらの症状によってさらに次の病型に分類される

#### 2 せん妄型

痴呆にせん妄が重なって出現する場合

#### 2 妄想型

妄想を主徴とする場合

#### 2 抑うつ気分型

うつ気分を主徴とする場合

#### 2 単純型

上記のような臨床症状が目立たない場合

2 行動障害型  
徘徊など

## 付録 C アルツハイマー症の簡便な診断

### 長谷川式簡易知能評価スケール HDS-R

本人に対し改訂長谷川式簡易知能評価スケール、表 C.1 を行い、23 点以下の結果が  
であればほとんどの場合、痴呆症である。また、この場合回答内容に

- 2 遅延再生の悪さ（三品の名前が全く思い出せない）
- 2 保続現象（前の質問と混同すること。例えば野菜を聞いているのに桜と答える）
- 2 同じ名前を繰り返す

があれば、「ADらしさ」が出ているといえる。特に、同じ野菜を 3 回も言う場合は AD  
である確率が高い。また、「ADらしさ」に特徴的な態度として、「あっけらかんとし、  
他人事のようにし、でたらめな対応をする」などがある。悲壮感があったり回答に時  
間がかかったりするのは、脳血管性痴呆、パーキンソン痴呆（進行したパーキンソン  
病の 3 割）、鬱病などに見られる態度である。

### 時計描画検査

時計の絵を描かせたときにきちんとかけない場合は、まず痴呆症である。例えば、数  
字を書き込めないほど小さな丸をかく、最初に頂点の位置に 12 ではなく 1 をかく（最  
最終的に 12 まで書き込んだとしても）などである。さらに、完成した文字盤に、10 時 10  
分の針を欠かせた場合、痴呆患者は 10 時 50 分に針を書き込むことが多い。これは、痴  
呆症患者の全般に見られる書き方であり「分概念の忘却」と呼ばれる。「ADらしさ」  
としては、

1. 「針概念の忘却」（針を 3 本以上書いたり、デジタル表示で書いたりする）
2. 数字位置の異常（数字が逆回転であったり、縦に 2 列に書いたりする）

などがある。



表 C.1: 長谷川式簡易知能評価スケール HDS-R、アルツハイマー症診断（質問紙）

質問	点数
年齢はいくつですか？	1点
今日は何月ですか？	1点
何日ですか？	1点
何曜日ですか？	1点
今年は何年ですか？	1点
ここはなにをすところですか？	1点
この部屋は何階？	1点
桜、猫、電車といってください。	1点
100 - 7の答えは？	1点
93 - 7の答えは？	1点
6・8・2を逆からいってください。	1点
3・5・2・9を逆からいってください。	1点
先ほど計算の前に覚えてもらった3つの 単語はなんでしたか？	各2点（桜・猫・電車） ヒントあり各1点（桜・猫・電車）
5つの物を見せますので覚えてください。 （はさみ・くし・鉛筆・ものさし・スプーン）	各1点 ( )点
野菜を10種類あげてください。	5つまでは0点、 それ以上はひとつにつき1点
総合得点	( )点

## 積み木検査

積み木で簡単な家の模型を作り、同じ物を作らせた場合にも「ADらしさ」が現れる。

1. 見本触り（見本に触れてしまう、見本と材料を混ぜてしまうなど）
2. 段取りの悪さ（屋根から作り始めてしまうなど）
3. 平面構築（積み上げずに横に並べてしまう）

AD患者の約25%が上記のような行動をとってしまうのに比べ、脳血管性痴呆患者にはほとんど見られない。以上のような症状、家族の訴えなどでできる限り早期に発見し、治療を開始することが肝要といえる。

## 付録 D 精神分裂病に関する知見

### 精神分裂病<sup>[8]</sup>

精神分裂病は、大変特徴のある病気であるが、その特徴は非常に説明しづらい。その人の精神機能全体が損われる病気ではないか、とされている。つまり、分裂病は他の病気のように体に異常が出ることはなく、全くの精神的な疾患である。精神分裂症の人が損うものは具体的には次のようなものがある。

#### 2 感情

その人らしさを形作っているもの。これがないと落ち着いてられない。

#### 2 思考

これが壊れると妄想が生じたり、まとまった考えが出来なくなる。

#### 2 行動

感情や思考の崩壊に伴って崩壊する。

### 精神分裂病の症状<sup>[9]</sup>

精神分裂病の症状の出方は人それぞれであるが、陽性症状、陰性症状、解体症状の3つに分類される。

#### 1. 陽性症状

##### 2 妄想、異常な思考、疑念

精神分裂病の人は、現実とかけ離れた奇妙で間違っただけの考えをもつようになることがある。彼らは、他人が自分の心の中を読みとり、自分に対して何かをたくらんでいると考え、誰かが自分を密かに監視して自分を脅かしていると考え、自分が他人の心をコントロールできると思い込み、他人が自分の心をコントロールできると思い込んでいることもある。

##### 2 幻覚

精神分裂病の人には、自分に話しかける声や、自分の噂話をしている声が聞

こえることがある。その声は、たいてい否定的、批判的で、恐ろしいことを話している。また、稀だが、そこに実在しないものが見えることもある。

## 2 歪んだ知覚

精神分裂病の人は、日常生活で見たことや聞いた音、匂いや味、身体で感じたことなどの意味がわからなくなることがある。そのために、あたりまえの物事が恐ろしく感じられる。精神分裂病の人は、まわりの雑音や光や色、注意を引くさまざまなものに対して敏感すぎるのかもしれない。

## 2. 陰性症状

### 2 感情の平板化や鈍麻

精神分裂病になると、感情を感じるができなくなることや、自分が何を感じているのかがわからなくなることもある。また、自分の感情をはっきりと表に出すことや、他人の感情を理解したりすることができなくなることもある。このような症状があると、他人とかかわることが難しくなる場合がある。そして、一定期間、極端に引き込まって孤立してしまうことがある。

### 2 動機づけやエネルギーの欠如

精神分裂病の人たちは、あることを始めることや、いったん始めたことを続けたりすることができなくなることがある。極端な場合には、入浴や着替えのような簡単なことでも、誰かに促されなければできないときがあります。

### 2 喜びの感情や物事に対する興味の欠如

精神分裂病の人たちには、世界は厚紙のように平らでつまらないもののように感じられるようである。このような状態から抜け出て何かをすることに価値を見出せないのかもしれない。

### 2 限られた会話

精神分裂病の人は口数が少なく、誰かに話しかけられなければずっと無言のままにしていることがよくある。

## 3. 解体症状

### 2 混乱した思考とまとまりのない会話

精神分裂病の人は、物事をはっきりと考えることや、他人の話の内容を理解

することができなくなることがある。会話を続けることや、先の計画を立てること、問題を解決したりすることができなくなることもある。

## 2 まとまりのない行動

精神分裂病にかかると、意味のない行動をすることや、リズムカルな動作を繰り返すこと、儀式的な行為を行ったりするようになることがある。時には、まったく話しも動きもせず、長時間同じ姿勢をとり続けるようになることがある。

### 精神分裂病の発病率と発病時期<sup>[9][10]</sup>

国際的な調査では、この精神分裂病の発病率は総人口あたりの約1%(100人～130人に1人ぐらい)で、地域、性別などによる発病率の大きな違いはないと言われている。精神分裂病の発病時期は、10代後半から20代に多く見られるようであるが、あらゆる年齢のどのような人にも発病する可能性があり、たいていは思春期から40歳ごろまでに発病する。小児も精神分裂病にかかることがあるが、これは稀なことである。

### 精神分裂病の原因<sup>[8][11]</sup>

精神分裂病の原因については、過去から次のような仮説がなされてきた。

#### 2 遺伝学的解明(単一遺伝子説とポリジーン説)

分裂病を起こす単一遺伝子があるのではないかという説と、ポリジーン(いくつかの遺伝子が関与し合う)説がある。これはまだどちらであるかという結論は出てはいない。しかし、一卵性双生児で片方が養子に出されて育った場合と、一卵性双生児を一緒に育てた場合の分裂病発病率は同じである。これは環境によるものではないということを証明している。そこから遺伝子が関与しているのではとされているが、単一遺伝子でははっきりとしたことがわからないので、ポリジーン説が有力となっている。

#### 2 ドーパミン仮説

脳内のドーパミンのレセプター(受容体)の可塑性が後進していて、脳内のドーパミンが過剰になっているという仮説である。この説は有力な説と言われており、現在分裂病の薬として利用されているものは、脳内のドーパミンを下げる働きのあるものである。さらに、脳内のドーパミンを過剰にする薬物(覚醒剤やコカイン)

によって分裂病の出現が見られる場合もある。しかし、どのドーパミンが影響しているのかがまだ不明である。ドーパミン D2 が有力視されているが、それも言われ始めてから 10 年も経っており、実験によっては違う結果が出ることもある。

## 2 ノルアドレナリン仮説

ノルアドレナリンに活動の後進が起きていて、それが諸症状を引き起こしているのではないかという仮説である。

## 2 セルトニン仮説

セルトニンは人間の環境に関与している。ただ、精神分裂病になるにはセルトニンが高くなるという人もいれば低くなるという人もいる。

## 2 局在論

頭のどこがやられてしまうのかを画像で見たり、精神分裂病で亡くなった方の脳を解剖して調べると、脳の前頭葉から側頭葉にかけて(大脳辺縁系に)障害が起きている、その機能が低下しているのではないか、という説である。

## 2 ストレス過感受性説

精神分裂症の人は人一倍ストレスを感じやすいのではないか、という説である。

## 2 過覚醒

ちょっとした刺激でも強く反応してしまうのではないか、という認知心理学的な説である。

これらのように、精神分裂病の原因に関して過去から様々な仮説があるが、現在でもその原因については、まだ証明されていない。現在ある程度分かっていることには次のようなものがある。

## 2 親の育て方や環境だけで病気になるのではない。

## 2 遺伝病ではないが、ごくわずかに遺伝する。

家族に精神分裂病にかかっている人がいない場合、精神分裂病にかかる確率はわずか 100 分の 1 である。両親か兄弟姉妹の誰か 1 人が精神分裂病に患っている場合、その確率は高くなるが、10%前後である。両親がともに精神分裂病を患っている場合、その確率は 40%ほどになる。家族の中に精神分裂病の人がいても、30 代の終わりまでに病気の徴候が認められなければ、この疾患にかかることはない。

両親または兄弟姉妹の誰か 1 人が精神分裂病だとしても、自分の子どもが精神分裂病にかかる確率は、わずかに高くなるだけである。

2 一つの原因によって発病するのではない。

したがって、一般的に精神分裂病の原因は、その人がもっている体質的なもろさにストレスが加わり、バランスを崩して発病すると考えられている。そして、それはドーパミンを始めとする脳内の神経伝達物質の代謝の変動と関係していると言われている。

#### 精神分裂病の診断と診断基準<sup>[12]</sup>

精神分裂病の診断は、基本的には患者自身が体験している精神状態に基づいて診断される。したがって、患者が自ら訴える精神状態を聞いて、精神分裂病に特徴的と考えられる症状があれば、精神分裂病と診断する。主に本人のみが体験する自覚症状で判断するが、患者が自ら語ってくれない場合には、患者の行動や家族の話から推定することもある。精神分裂病にはふつう身体症状はないが、脳腫瘍、脳血管障害などの脳・神経系の病気で精神症状を呈することもあるので、頭部 X 線 CT や頭部 MRI (磁気共鳴画像) などの検査を行うこともある。鑑別しなければならない病気としては、躁うつ病、神経症、脳器質精神病 (脳疾患由来の精神病)、症状精神病 (身体疾患由来の精神病) がある。最近是世界保健機構 WHO の「国際疾病分類、第 10 改訂」(ICD-10) やアメリカ精神医学会の「精神疾患の診断・統計マニュアル、第 4 版」(DSM- ) などの国際的な診断基準を利用することがある。ICD-10、DSM- 共に付録 E に示す。また、症状の基準として、シュナイダーによる一級症状についても付録 E に示す。

## 付録 E 精神分裂病の診断基準

### 精神分裂病の診断基準 (ICD-10)

診断は、言語あるいは認知的発達において臨床的に明らかな全般的な遅延がみられないことと、自閉症の場合と同様に相互的な社会関係の質的障害と、行動、関心、活動の限局的で反復的常同的なパターンとの組み合わせに基づいて行われる。自閉症の場合と類似のコミュニケーションの問題は、あることもないこともあるが、明らかな言語遅滞が存在するときはこの診断は除外される。

A. 表出性・受容性言語や認知能力の発達において、臨床的に明らかな全般的遅延はないこと。診断のあたっては、2歳までに単語の使用ができており、また3歳までに意志の伝達のための二語文(フレーズ)を使えていることが必要である。身辺処理や適応行動および周囲に向ける好奇心は、生後3年間は正常な知的発達に見合うレベルでなければならない。しかし、運動面での発達は多少遅延することがあり、運動の不器用さはよくある(ただし、診断に必須ではない)。突出した特殊技能が、しばしば異常な没頭にともなってみられるが、診断に必須ではない。

B. 社会的相互関係における質的異常があること(自閉症と同様の診断基準)。

(a) 視線・表情・姿勢・身振りなどを、社会的相互関係を調整するための手段として適切に使用できない。

(b) (機会は豊富にあっても精神年齢に相応した)友人関係を、興味・活動・情緒を相互に分ち合いながら十分に発展させることができない。

(c) 社会的・情緒的な相互関係が欠除して、他人の情動に対する反応が障害されたり歪んだりする。または、行動を社会的状況に見合ったものとして調整できない。あるいは社会的、情緒的、意志伝達的な行動の統合が弱い。

(d) 喜び、興味、達成感を他人と分かち合おうとすることがない。(つまり、自分が関心をもっている物を、他の人に見せたり、持ってきたり、指し示すことがない)

C. 度外れた限定された興味、もしくは、限定的・反復的・常同的な行動・関心・活動性のパターン(自閉症と同様の診断基準。しかし、奇妙な運動、および遊具の一部分や本質的でない要素へのこだわりをともなうことは稀である)。

次に上げる領域のうち少なくとも1項が存在すること。



(a) 単一あるいは複数の、常同的で限定された興味のパターンにとらわれており、かつその内容や対象が異常であること。または、単一あるいは複数の興味が、その内容や対象は正常であっても、その強さや限定された性質の点で異常であること。

(b) 特定の無意味な手順や儀式的行為に対する明らかに強迫的な執着。

(c) 手や指を羽ばたかせたり絡ませたり、または身体全体を使って複雑な動作をするなどといった、常同的・反復的な奇異な行動。

(d) 遊具の一部や機能とは関わりのない要素（たとえば、それらが出す匂い・感触・雑音・振動）へのこだわり。

D. 障害は、広汎性発達障害の他の亜型、単純型分裂病、分裂病型障害、強迫性障害、強迫性人格障害、小児期の反応性・脱抑制性愛着障害などによるものではない

#### 精神分裂病の診断基準（DSM- ）

A. 以下のうち少なくとも2つにより示される対人的相互作用の質的な障害

1. 目と目で見つめ合う、顔の表情、体の姿勢、身振りなど、対人的相互反応を調整する多彩な非言語性行動の使用の著明な障害。

2. 発達の水準に相応した仲間関係をつくることの失敗。

3. 楽しみ、興味、成し遂げたものを他人と共有すること。

（例えば、他の人達に興味あるものを見せる、持って来る、指さす）を自発的に求めることの欠如。

4. 対人的または情緒的相互性の欠如。

B. 行動、興味および活動の、限定され反復的で常同的な様式で以下の少なくとも1つによって明らかになる。

1. その強度または対象において異常なほど、常同的で限された型の1つまたはそれ以上の興味だけに熱中すること。

2. 特定の、機能的でない習慣や儀式にかたくなにこだわるのが明らかである。
  3. 常同的で反復的な衝動的運動（例えば、手や指をぱたぱたさせたりねじ曲げる、または複雑な全身の動き）。
  4. 物体の一部に持続的に熱中する。
- C. その障害は社会的、職業的、または他の重要な領域における機能の臨床的に著しい障害を引き起こしている。
- D. 臨床的に著しい言語の遅れがない（例えば、2歳までに単語を用い、3歳までに意志伝達的な句を用いる）。
- E. 認知の発達、年齢に相応した自己管理能力、（対人関係以外の）適応行動、および小児期における環境への好奇心などについて臨床的に明らかな遅れがない。
- F. 他の特定の広汎性発達障害または精神分裂病の基準を満たさない。

#### 精神分裂病の診断基準（シュナイダーによる一級症状）

1. 思考化声  
自分の考えていることが声になって聞こえるという体験
2. 対話性幻覚  
2人の人が対話をしている幻聴
3. 自分の行動に口出ししてくる幻聴  
何か行動すると「それをしてはいけない」などと声が言う体験
4. 身体への非影響体験  
身体が何かの力で動く。光線で食欲がなくなってしまうなど。

5. 思考奪取

自分の考えが抜き取られるという体験

6. 思考吹入

考えが外から吹きこまれるという体験

7. 思考伝播

考えていることが、周囲の人々にわかれてしまう体験

8. 妄想知覚知覚したことについて、特別の意味づけがなされる

9. 行為体験(させられ体験)など思考・感情・意欲の面における「させられ体験」

# 付録 F 注意欠陥多動性障害 (ADHD) に関する 知見

注意欠陥多動性障害 (ADHD)<sup>[13][14]</sup>

教育現場で、授業中に教室を歩き回る、話に集中できない、友達の邪魔をするなど動きが激しく注意散漫で集団行動からはずれやすい子供がでてきている。こうした行動をする子供達の中に注意欠陥多動性障害 (ADHD - attention-deficit/hyperactivity disorder、以下 ADHD と略す) という脳機能の発達障害のケースがあることが知られてきている。

ADHD とは、7歳未満に発症し、不注意、多動性、衝動性という3つの行動を示す行動障害である。不注意と多動性を併せ持つ場合 (混合型) とどちらかが主症状の場合があるが、全体の85~90%は混合型である。また、ADHDの発症頻度は、文献ごとによってまちまちであるが、2~7%と推定されている。一般に、小児の3~5%がADHDと推定され、性差では、明らかに男児に多く、女児との比は4~6:1といわれる。遺伝性に関しては、一卵生双生児の一致率が高いことや、患者の父親の約1/4に同様の行動パターンを認めることから、ある程度の遺伝的要因が関与していることが考えられる

ADHD の症状 <sup>[13][14][15][16]</sup>

ADHD の症状は、行動面の症状のことであり、それは、脳の機能障害を背景とした個人の行動特性、つまり、周囲との関係性の中で生じるのではない行動面の問題ということができる。その中心となるのが、不注意、多動性、衝動性の3症状である。

## 2 不注意

物事に対して綿密な注意を向ける事ができにくい、その注意力を持続することが困難といった状態である。

## 2 多動性

教室でもじっと座っていることができず、立ち歩き、絶え間なくお喋りする。たとえ座っていても、もじもじしていたり、足をゆらゆら動かしたり、色んなモノに触ったり、鉛筆で騒々しく音を立てたりといったことが考えられる。

## 2 衝動性

その瞬間の行動を抑制できず、考える前に行動に移ってしまうといった状態がみられる。

また、この3つの症状の程度により、「混合型」、「不注意優勢型」および「多動性-衝動性優勢型」の3つに分けられる。これらの中心症状が激しいと、周囲からの働きかけに対する応答性が乏しくなり、3~4歳までは自閉症と間違えられることもあり、診断を行う時には注意が必要となる。自閉症と異なる点は、本人の関心の範囲であれば周囲の人のやり取り行動が成立することが多い点である。ADHD児のその他の性格特性として、几帳面、融通が利かない、頑固などが指摘されることもあり、これらが対人関係上の問題の背景となっていることもある。知的能力に関しては、多くは境界線(IQ70)以上の知能指数を示す。しかし、全般的な知的能力に大きな遅れがなくとも、認知能力のアンバランスを認めるものが多い。そのため、学童時期になると、いわゆる学習障害(Learning Disability、通称LDと呼ばれている)の状態像を示すことも少なくない。しかし、基本症状であっても、周囲の環境によって変化することが知られており、一般に、刺激が構造化・単純化され明確になっている状況では、ADHD児であってもある程度集中して課題に取り組むことができる。ADHDでは、この他、発達面の問題や行動・精神面の問題を多彩に合併するものが少なくない。代表的なものとしては、発達性言語障害、極度の不器用さを呈する発達性協調運動障害、無気力・自信喪失などの情緒障害、不登校、反抗、乱暴や非行などの反社会的行動、鬱状態、不安障害がある。行動精神面の問題は、ADHDそのものから生じるのではなく、周囲の不適切な対応とADHDとしての衝動性が関係し合っ、二次的に生じているものがほとんどである。この二次的問題には、社会行動の問題と心理特性の問題がある。前者は、その集団なりの「規則」がある状況で、基本症状を基にした患児の行動が周囲から問題とされるものである。具体的には、その集団の決まりから外れる行動を反復するものである。当然のことではあるが、集団・社会がなければ、あるいは、「集団の規則」が異なれば問題とされないものであり、その意味で二次的問題と考えることができる。後者は、集団生活・対人関係における失敗体験や被叱責体験の積み重ねから生じてくる問題といえる。これらのようにADHDの基本症状以外の症状としては、基本症状を背景として周囲の人との関係性の中で二次的に生じたものと合併症がある。合併症による症状も含め、ADHDに認められることのある行動・精神面の問題を表F.1に示す。

不注意、多動性、衝動性という中心症状は、成長とともに自然に改善する傾向がある。大きく動き回るといった多動性は8~10歳までに落ち着いてしまうことが多い。し

表 F.1: 注意欠陥多動障害に見られる行動・精神面の問題 (合併症症状含む)

乳児期	易刺激性、落ち着きのなさ、不規則な生活、睡眠リズム、頻回の激しい蹄泣、頻回の発熱、少食
幼児期	1つの遊びの持続性が短い、落ち着きのなさ、激しい感情の変化、かんしゃく、激しい気分の変化、無目的の行動、過度の欲求行為、他児との遊び困難、集団行動困難、昆虫動物に対しての頻回の残酷な行為、言語遅滞、不器用
学童期	注意集中困難、白昼夢、多動(じっと坐ってられない)、衝動性、不器用、課題遂行困難、学業不振、特異的学習障害(読字、書字、計算障害)、集団行動困難、乏しい交友関係、問題行動(不登校、易興奮性、攻撃性)、クラスのおどけもの(cross clown)、いじめ
思春期	注意集中困難、学業不振、不登校、怠学、集団行動からの逸脱、乱暴反抗的な言動、非行、性的逸脱行動、自殺企画、激しい気分の変動性、虚言傾向、交通事故
成人期	注意転動性、衝動性、激しい気分の変動性、爆発的感情表現、対人関係の維持が困難、頻回の対人関係上の対立、低い仕事の能力、虚言傾向、睡眠障害、過剰な表現行動、ヒステリー、アルコール依存症、反社会的言動

かしながら、座ってはいるが上体が常に動いているなどのような何となく落ち着かないという、いわば多活動性という状態は、軽減するものの成人まで持続する場合もある。一般に、小児期に ADHD と診断された子供は、高校生・大学生の青年期では 60～80%が、成人になっても 30～50%が何らかの症状を残しているとも言われている。成人まで残存しやすい症状としては、不注意・忘れ物などの軽度の注意力障害、じっとしているのが苦手という軽度の多活動性あるいは衝動性などがある。このように、基本症状は、ほとんど場合、年齢が上がるにつれて自然に改善するものである。一方、これとは逆に、成長とともにむしろ悪化していきやすい問題がある。それが、先程述べた精神的合併症の問題である。ADHD は、幼児期から多彩な行動・精神面の問題を呈する。しかも、この問題は周囲を困らせるものであることが多いため、年少時期より注意・叱責を受けやすい。一方、ADHD 児の示す落ち着きのなさは脳の機能障害に基づくものであり、本人にも押さえようがないものである。ある意味で、本人にとってはその状態が普通の状態ともいえるものであり、したがって、落ち着きのなさや集団からの逸脱行動を示していても、本人には注意されるような悪いことをしたという意識はないのが普通である。自覚していない行動に対して、注意され叱責されることが反復される場合、子どもの気持ちの中には反省の念は起こらず、反発心だけが育っていくことになる。家庭においても学校においても、評価・賞賛されることのないままに経過すると、最終的には、様々な問題行動や神経症状、あるいは反社会的行動が出現してくることになる。そうした経過の概要を図 F.1 に示す。図 F.1 において、点線の矢印は、その経過をたどる比率が低いことを意味する。

ADHD の大人に対する診断としては、注意散漫・衝動性・多動（活動過多）の 3 つの定義が日常的な障害となって実生活に影響を及ぼしているとき、ADD あるいは ADHD と診断される。ここで、多動（活動過多）が多く見受けられるときは ADHD、そうでないときは ADD となる。また、症状が一時的であったり時々しか見られなかったりする場合は、ADD、ADHD ではない。症状の例としては、だらしない、整理整頓ができない、ミスが多い、ストレスに弱い、楽な道を選ぶ、モノを無くしやすい、金銭の管理が出来ない、遅刻が多い、不器用、危険な行為をする、計画・準備が困難、仕事が完成しない、退屈にたえられない、気分がかわりやすい、気ぜわしい、不安感、鬱、心配性、目標に対しての達成感が感じられない、かんしゃくもち、怒りっぽい、マニュアルに従うのが苦手、自尊心の低さ、不正確な自己認識、対人関係に一喜一憂しやすい、暴力行為をおかしやすい、アルコール中毒や薬物中毒になりやすい、しゃべりすぎる、手足を無意味にそわそわ動かす、順番を待つことが苦手である、がある。

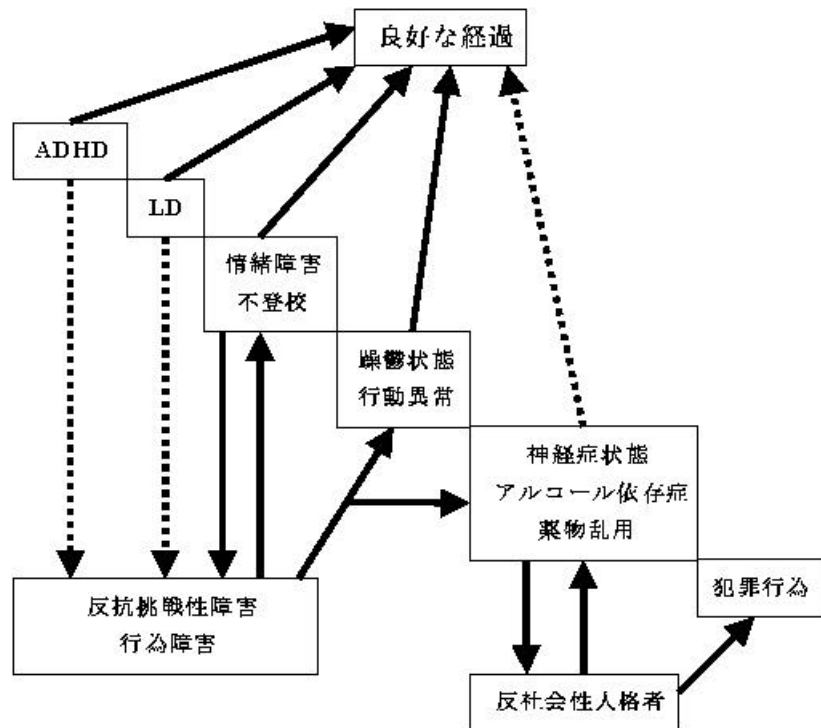


図 F.1: 注意欠陥多動性障害の経過

## ADHD の原因 <sup>[13][17]</sup>

ADHD の直接的な原因は不明である。現在、ADHD は脳に何らかの機能不全が想定されているが、特定な脳機能系の障害は認められていない。中枢刺激剤が ADHD に特異的に有効であることから、カテコールアミン系の脳内伝達物質（神経細胞から別の神経細胞へ情報を伝達する脳の化学物質）であるドーパミンないしはノルアドレナリンが不足しているのではないかと推測されている。（神経学的症候群）また、セロトニンの機能の障害も指摘されている。一方、劣悪な養育環境でも同じような行動特徴を示すことがあると言われている。このため、ADHD は、発達障害ではなく行動障害の中に分類されている。したがって、ADHD の身体的要因としては、てんかんなど何らかの中枢神経障害が、心理的要因としては、虐待を含む混乱した生活環境が指摘されている。

## 身体的所見・検査所見 <sup>[13][14][17][18]</sup>

身体的所見で特別なものは認められないが、神経学的微徴候 (soft neurological signs) は少なくない。また、遺伝的には、染色体あるいは遺伝子的レベルの研究でも、特異的



な所見はない。しかしながら、多動の傾向や行動の活発さなどの素因は家族的に現れる傾向がある。検査的所見では、ADHDの人はそうでない人よりも脳、特に前頭葉の活動レベルが低いことが分かっており、最近、頭部画像診断として、CT、MRI、SPECT、PETなどから、ADHDでは前頭葉の低機能の他に小脳の低形成などが報告されているが、特有な所見は認められていない。また、その検査にて前頭葉や線状体の縮小傾向が指摘されているが、その意味は不明である。その他、脳波にて、非特異的異常所見、つまり除波傾向などの基礎波異常を認めることが約半数と多いが、特有の脳波異常はない。時に、てんかん性の異常波が認められている。これらのように、MRI等を用いたADHDに関する脳の形態学的な所見は、それぞれの報告によって異なる点も少なくない。特に小児では脳の各部位の相対的な大きさが加齢とともに変化するので、対象とするADHD児の年齢層やその範囲などで所見が異なってくる場合がある。しかしながら、複数の報告である程度一致した所見も得られている。そのようなADHDにみられる所見は、前頭葉、基底核、脳梁に多い。右前頭前野、淡蒼球（特に右側）、脳梁については、その大きさを調べたほとんどの報告で右側の大きさがADHD児において小さいとされている。ただ脳梁については、そのどの部位が小さいかについての所見は必ずしも一致していない。尾状核については健常児にみられる右側の方が左側より大きいという左右差がみられるとされ、また健常児にみられるような加齢に伴う尾状核の大きさの減少がみられないと報告されている。小脳について調べたCastellanosらの報告ではADHDでは小脳が小さいとしている。また、行動学的な所見との関連では、Caseyらは抑制的制御機能の検査結果との関係性をみており、前頭前野、尾状核、淡蒼球における所見が抑制的制御機能の検査結果と相関している可能性を指摘している。Castellanosらは周産期の障害のリスクが尾状核の左右差と関連していることを報告している。

## ADHDの診断<sup>[17]</sup>

ADHDの診断は、発症年齢と、不注意、多動性、衝動性という3つの症状を持ち、学校（あるいは仕事）や家庭や友人関係などの2つ以上の状況でこれらの症状がみられ、かつそれが生活上における障害となっている場合、その人をADHDであると診断することができる。臨床的評価の領域には、行動の特徴と異常、精神発達の遅れと不均衡、適応行動、全般的重症度、家庭環境と親の満足度があり、本人の年齢や状態に合わせて適宜選んで行うことが望ましい。行動を直接観察し評価することは診断上必要であるが、不注意、多動性、衝動性の3つの症状に焦点をあてた特別な行動評価票としてコナーズ評価票がある。診察室では、これらの行動が殆ど見られないことがある

ので、親や教師から別々にもたらされる評価は重要である。また、ADHDでは、知能は不均衡なことが多く、遅滞があることもあり、発達段階の評価や個別の知能テストによる評価が必要となる。知能テストとしてはWISC-RやWISC-IIIがしばしば使われている。また、指の失認、左右指南力障着、衣失行、描画の障害などの神経心理学的な異常を評価する必要もある。性格傾向としては、場に依存的で衝動性や易興奮や気分の変わり易さがあったり、幼い感じがしたり、自己中心的、頑固、固執が認められ、人への関わり方も不適切なことがある。内的には、不安、劣等感、不達成感が強い。これらは全員に見られるものではない。彼らが持ち合わせている様々な性格的長所の評価も忘れてはならない。鑑別では、まず、年齢相当の正常な多動や不適切な環境因による多動が挙げられる。また、DSM-IVの基準では、広汎性発達障害（いわゆる自閉症）や気分障害（躁うつ病、うつ病など）や精神分裂病あるいは心因反応などを鑑別し、その診断を優先することになっている。精神遅滞では、IQに比べてこの3つの症状が著明な場合に合併と診断される。また、学業不振あるいは学習障害などの合併があったり、てんかんや脳性麻痺にも伴うことがある。行為上の問題として、行為障害や反抗挑戦性障害との合併があげられる。

#### ADHDの診断基準<sup>[19]</sup>

現在利用されているADHDの診断基準は次の二つで、世界保健機構WHOの「国際疾病分類、第10改訂」(ICD-10)とアメリカ精神医学会の「精神疾患の診断・統計マニュアル、第4版」(DSM-)である。ICD-10、DSM-ともに付録Gに示す。

# 付録 G ADHDの診断基準

## ADHD 診断基準 (ICD-10)

### F90. 多動性障害

Hyperkinetic Disorders : 多動性障害の研究用診断では、さまざまな状況を通して広範にかついつの時点でも持続するような、不注意や多動、そして落ち着きのなさを異常なレベルで明らかに確認されておくことが必要である。またこれは自閉症や感情障害などといった他の障害に起因するものではない。

#### G1. 不注意

次の症状のうち少なくとも6項が6カ月間以上持続し、その程度は不適応を起こすほどで、その子どもの発達段階と釣り合いであること。

- (1) 学校の勉強・仕事・その他の活動において、細かく注意を払えないことが多く、うっかりミスが多い。
- (2) 作業や遊戯の活動に注意集中を持続できないことが多い。
- (3) 自分に言われたことを聴いていないように見えることが多い。
- (4) しばしば指示に従えない、あるいは学業・雑用・作業場での仕事を完遂することができない。(反抗のつもり、または指示を理解できないためではなく)。
- (5) 課題や作業をとりまとめるのが下手なことが多い。
- (6) 宿題のように精神的な集中力を必要とする課題を避けたり、ひどく嫌う。
- (7) 学校の宿題・鉛筆・本・玩具・道具など、勉強や活動に必要な特定のものをなくすことが多い。
- (8) 外部からの刺激で容易に注意がそれてしまうことが多い。
- (9) 日常の活動で物忘れをしがちである。

#### G2. 過活動

次の症状のうち少なくとも3項が6カ月間以上持続し、その程度は不適応を起こすほどで、その子どもの発達段階と釣り合いであること。

- (1) 座っていて手足をモゾモゾさせたり、身体をクネクネさせることがしばしばある。
- (2) 教室内で、または着席しておくべき他の状況で席を離れる。
- (3) おとなしくしているべき状況で、ひどく走り回ったりよじ登ったりする(青年期の

者や成人ならば、落ち着かない気分がするだけだが)。

(4) 遊んでいて時に過度に騒々しかったり、レジャー活動に参加できないことが多い。

(5) 過剰な動きすぎのパターンが特徴的で、社会的な状況や要請によっても実質的に変わることはない。

### G3. 衝動性

次の症状のうち少なくとも1項が6カ月間以上持続し、その程度は不適応を起こすほどで、その子どもの発達段階と不釣り合いであること。

(1) 質問が終わらないうちに、出し抜けて答えてしまうことがよくある。

(2) 列に並んで待ったり、ゲームや集団の場で順番を待てないことがよくある。

(3) 他人を阻止したり邪魔したりすることがよくある(例:他人の会話やゲームに割り込む)。

(4) 社会的に遠慮すべきところで、不適切なほどに過剰に喋る。

B. 多動性-動性または不注意の症状のいくつかは7歳未満に存在し、障害を引き起こしている。

C. これらの症状による障害が2つ以上の状況において(例えば、学校[または仕事]と家庭)存在する。

D. 社会的、学業的または職業的機能において、臨床的に著しい障害が存在するという明確な証拠は存在しなければならない。

E. その症状は広汎性発達障害、精神分裂病、またはその他の精神病性障害の経過中のみ起こるものではなく、他の精神疾患(例えば、気分障害、不安障害、解離性障害、または人格障害)ではうまく説明されない。

G4. 発症は7歳以前であること。

### G5. 広汎性

この基準は、複数の場面で満たされること、たとえば、不注意と過活動の組み合わせが家庭と学校の両方で、あるいは学校とそれ以外の場面(診療室など)で観察される(いくつかの場面でみられるという証拠として、通常複数の情報源が必要である。

たとえば、教室での行動については親からの情報だけでは十分とはいえない)。

G6.

G1-G3の症状は、臨床的に明らかな苦痛をひき起こしたり、あるいは社会的・学業上・仕事面での機能生涯をひき起こすほどであるということ。

G7.

この障害は広汎性発達障害(F84.-)、躁病エピソード(F30.-)、うつ病エピソード

(F32.-) または不安障害 (F41.-) の診断基準を満たさないこと。

## ADHD 診断基準 (DSM - )

評価項目が[A(1)・不注意]と[A(2)・多動性-衝動性]に分けられて各9項目ある。A(1)・A(2)とも6項目以上あるものを「注意欠陥/多動性障害、混合型」と診断する。A(1)のみ6項目以上あるものを「注意欠陥/多動性障害、不注意優勢型」と診断する。A(2)のみ6項目以上あるものを「注意欠陥/多動性障害、多動性-衝動性優勢型」と診断する。

数項目ずつあてはまることは、気が散りやすい、落ち着かない程度の子によくあるが、この診断基準をしっかりと満たす場合は、やはり何がしかの対応が必要な子どもという印象がある。

### A.(1)、(2) のどちらか

(1) 下の不注意の症状のうち6つ(またはそれ以上)が少なくとも6ヶ月以上続いていたことがあり、その程度は不適応的で、発達の水準に相応しないもの

#### 2 不注意

- (a) 学業、仕事、またはその他の活動において、しばしば綿密に注意する事が出来ない。または、不注意な過ちをおかす。
- (b) 課題または遊びの活動で注意を持続する事がしばしば困難である。
- (c) 直接話し掛けられた時にしばしば聞いていないように見える。
- (d) しばしば指示に従えず、学業、用事、または職場での業務をやり遂げる事ができない(反抗的な行動または指示を理解できないためではなく)。
- (e) 課題や活動を順序立てる事がしばしば困難である。
- (f) (学業や宿題のような)精神的努力の持続を要する課題に従事することをしばしば避ける、嫌う、またはいやいや行う。
- (g) (例えば、おもちゃ、学校の宿題、鉛筆、本、道具など)課題や活動に必要なものをしばしばなくす。
- (h) しばしば外からの刺激によって容易に注意をそらされる。
- (i) しばしば毎日の活動を忘れてしまう。

(2) 以下の多動性-衝動性の症状のうち6つ(またはそれ以上)が少なくとも6ヶ月以上持続したことがあり、その程度は不適応的で、発達の水準に相応しない。

## 2 多動性

- (a) しばしば手足をそわそわと動かし、またはいすの上でもじもじする。
- (b) しばしば教室や、その他、座っていることを要求される状況で席を離れる。
- (c) しばしば不適切な状況で、余計に走り回ったり高い所へ上がったたりする  
(青年または成人では落ち着かない感じの自覚のみに限られるかもしれない。)
- (d) しばしば静かに遊んだり余暇活動につくことができない。
- (e) しばしば"じっとしていない"または"まるでエンジンで動かされてるように"行動する。
- (f) しばしばしゃべりすぎる。

## 2 衝動性

- (g) しばしば質問が終わる前に出し抜けに答えてしまう。
- (h) しばしば順番を待つ事が困難である。
- (i) しばしば他人を妨害し、邪魔する(例えば、会話やゲームに干渉する)。

B. 多動性-衝動性または不注意の症状のいくつかは7歳未満に存在し、障害を引き起こしている。

C. これらの症状による障害が2つ以上の状況において(例えば、学校〔または仕事〕と家庭)存在する。

D. 社会的、学業的または職業的機能において、臨床的に著しい障害が存在する明確な証拠が存在しなければならない。

E. その症状は広汎性発達障害、精神分裂病、またはその他の精神病性障害の経過中のみ起こるものではなく、他の精神疾患(例えば、気分障害、不安障害、解離性障害、または人格障害)ではうまく説明されない。

## 付録 H 追従運動測定時における被験者 B と C の 眼球中心位置の X 座標の時間変化

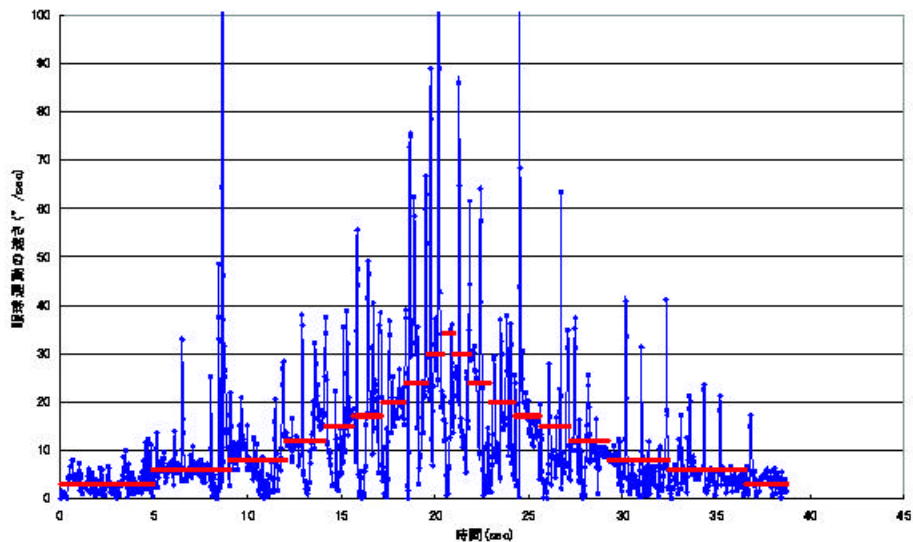


図 H.1: 追従運動測定時における被験者 B の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化

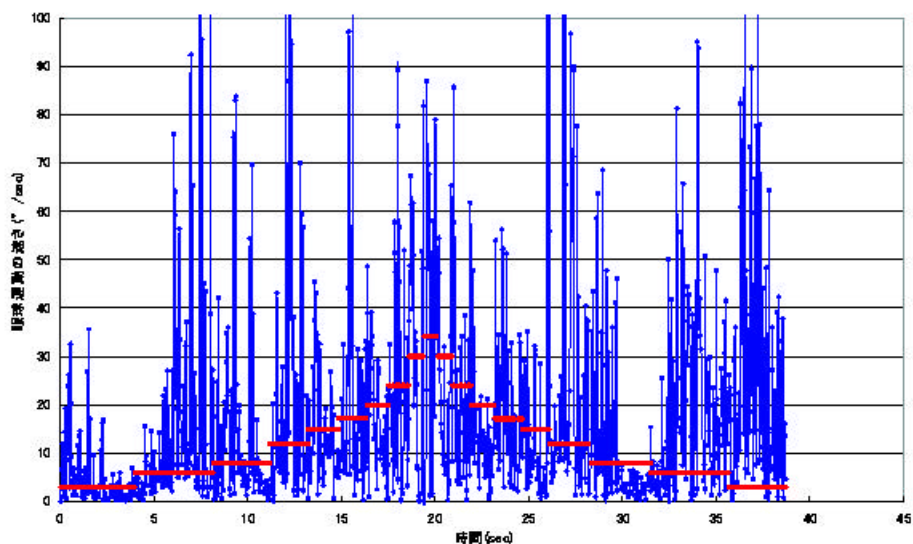


図 H.2: 追従運動測定時における被験者 B の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化

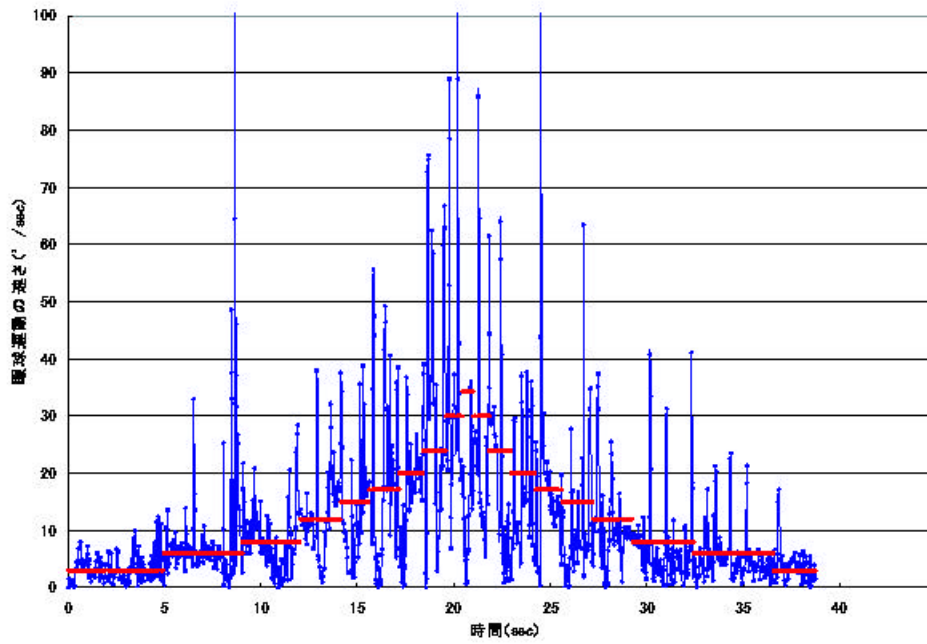


図 H.3: 追従運動測定時における被験者 C の左眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化

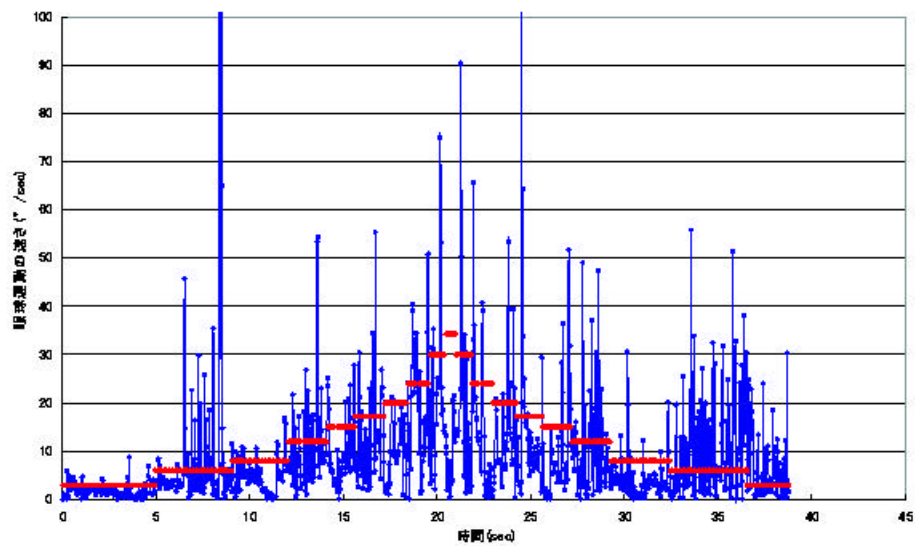


図 H.4: 追従運動測定時における被験者 C の右眼の眼球中心位置の X 座標の時間変化



# 付録 I ターゲットを計測中に左に移動させた時の 瞳孔中心位置

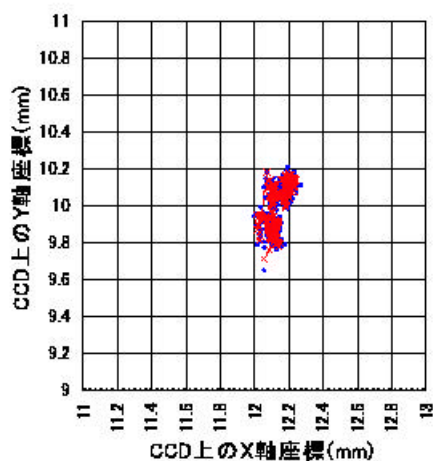


図 I.1: ターゲットを計測中に 0.5 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置

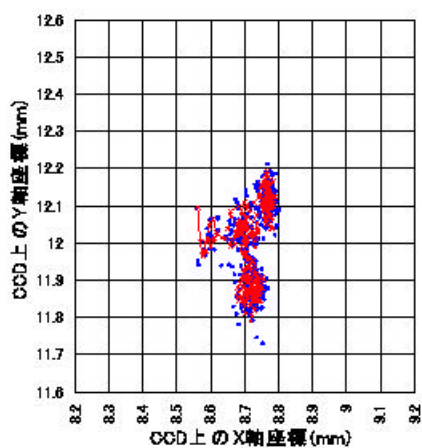


図 I.2: ターゲットを計測中に 0.5 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置

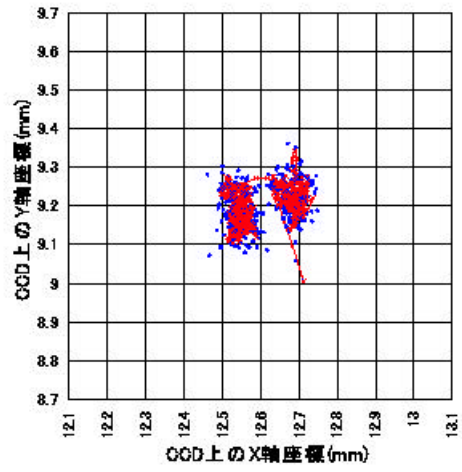


図 1.3: ターゲットを計測中に 1 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置

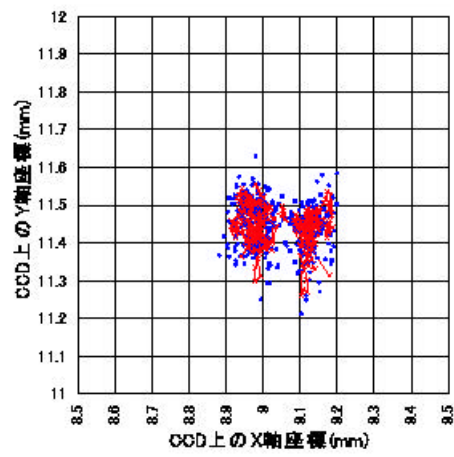


図 1.4: ターゲットを計測中に 1 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置

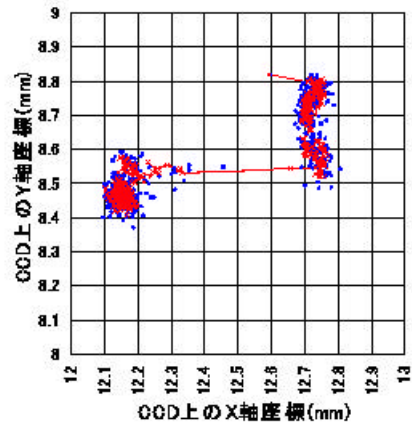


図 1.5: ターゲットを計測中に 3 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置

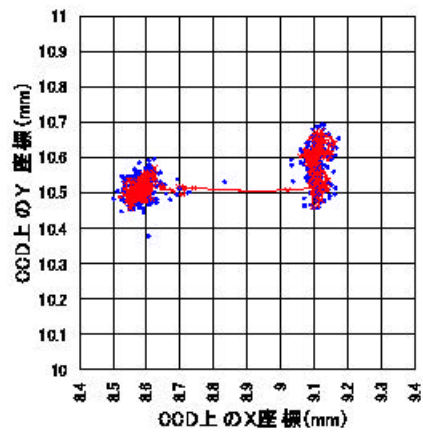


図 1.6: ターゲットを計測中に 3 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置

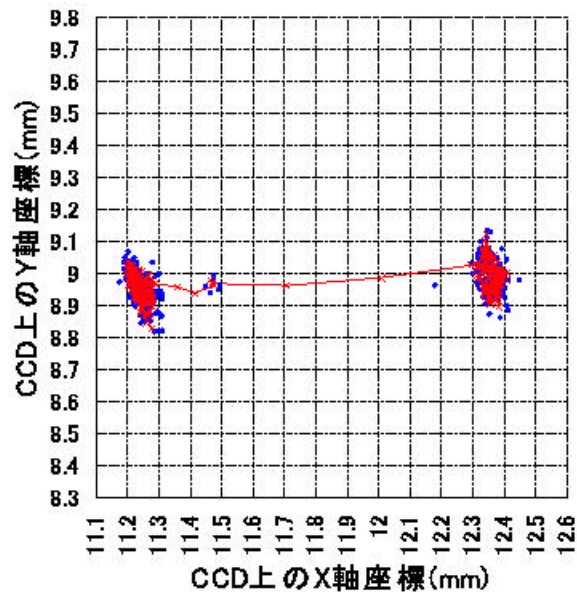


図 1.7: ターゲットを計測中に 6 °左に移動させた時の左眼の瞳孔中心位置

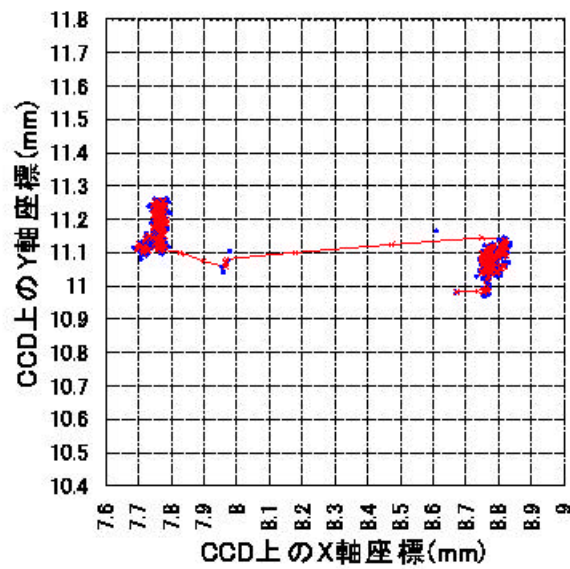


図 1.8: ターゲットを計測中に 6 °左に移動させた時の右眼の瞳孔中心位置

## 付録 J 被験者 D ~ H の対光反応測定時における 瞳孔径の変化

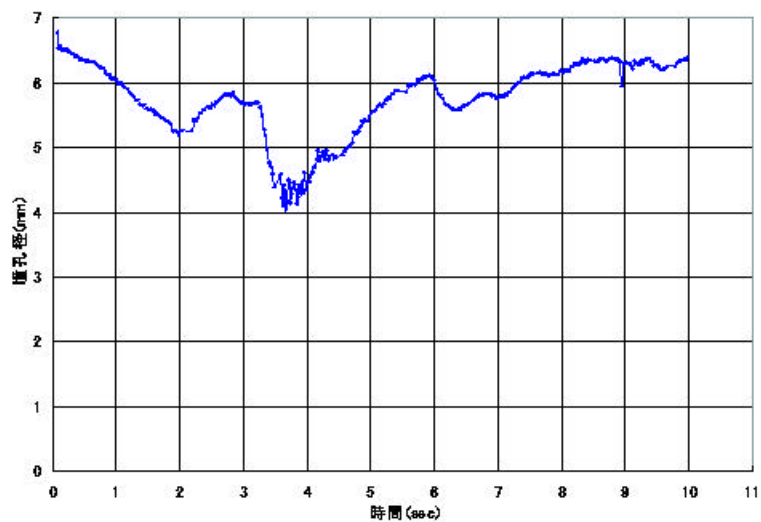


図 J.1: 被験者 D の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化

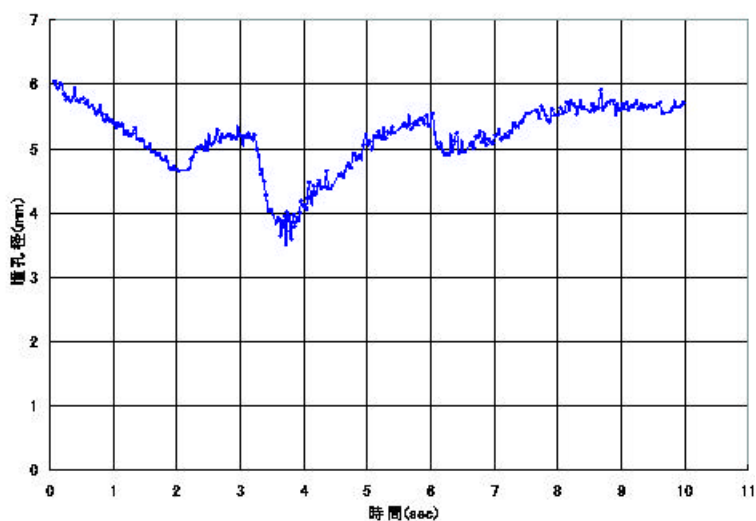


図 J.2: 被験者 D の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化

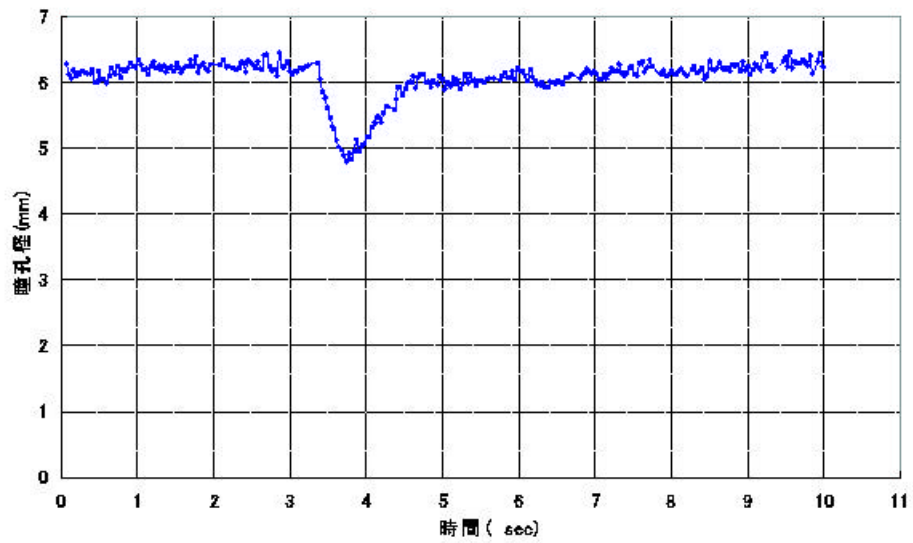


図 J.3: 被験者 E の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化

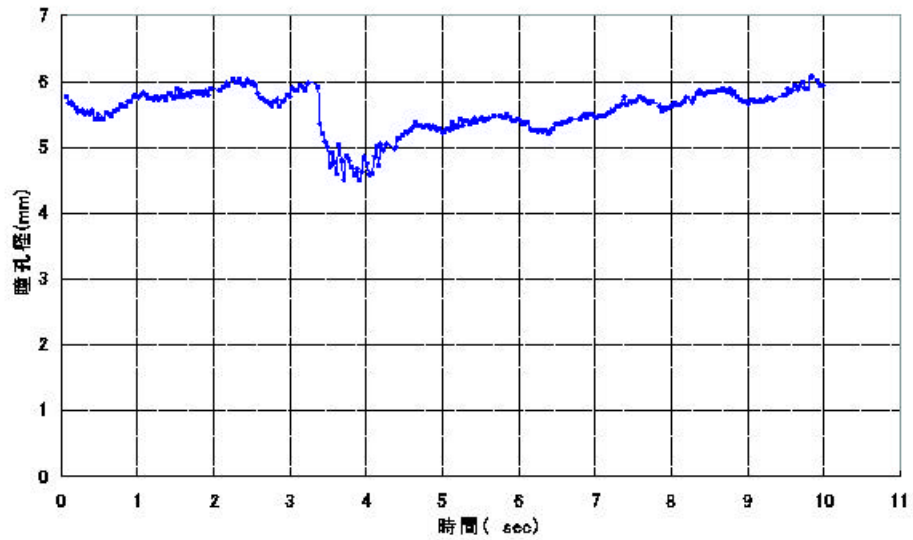


図 J.4: 被験者 E の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化

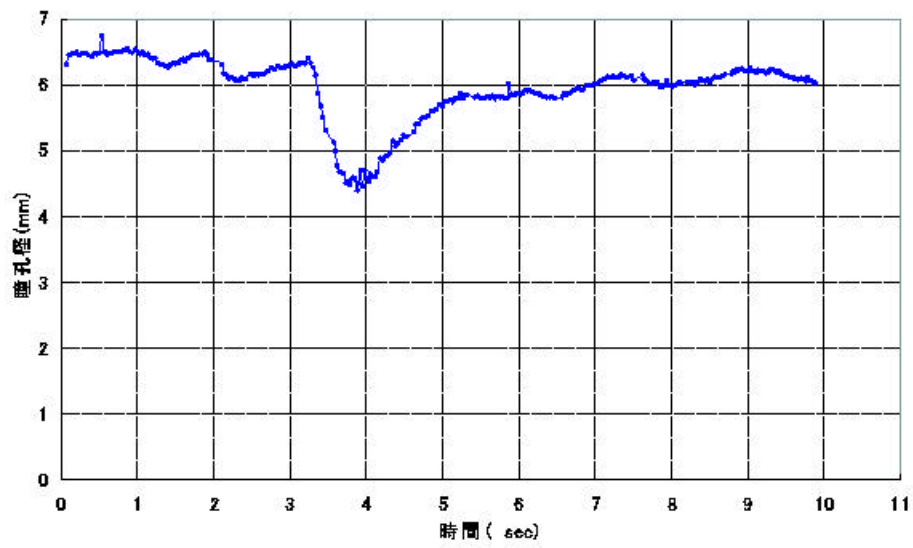


図 J.5: 被験者 F の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化

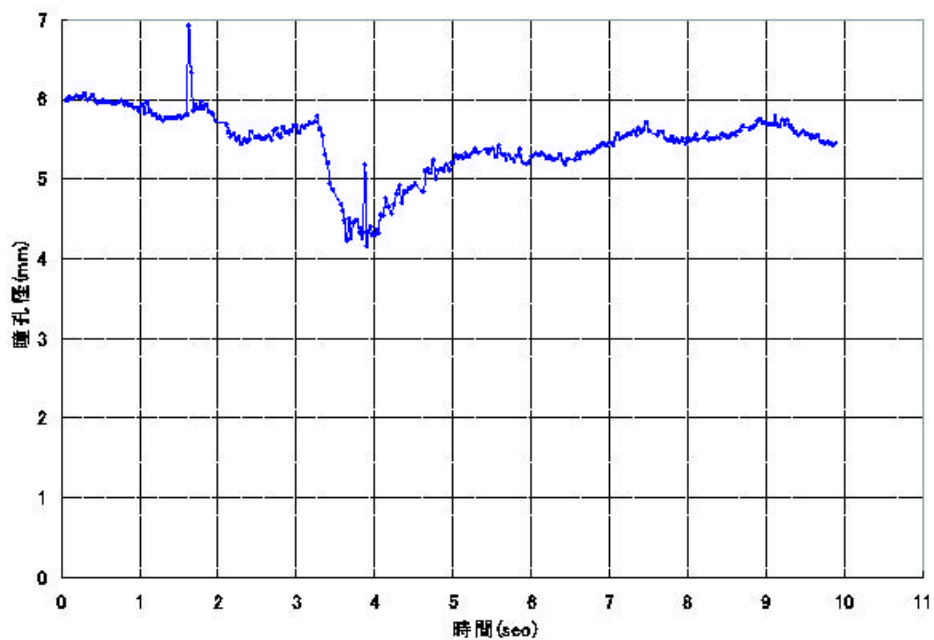


図 J.6: 被験者 F の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化

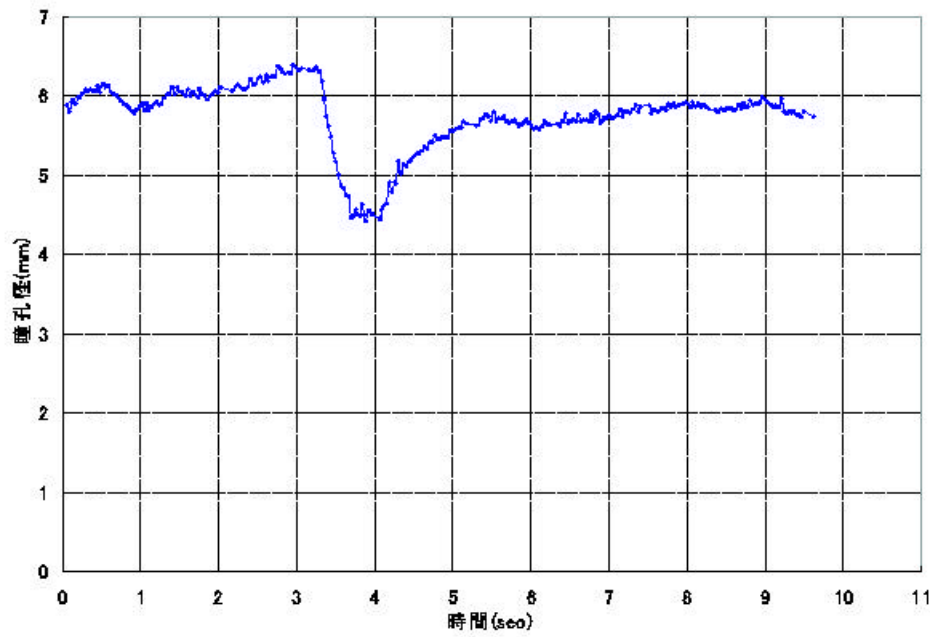


図 J.7: 被験者 G の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化

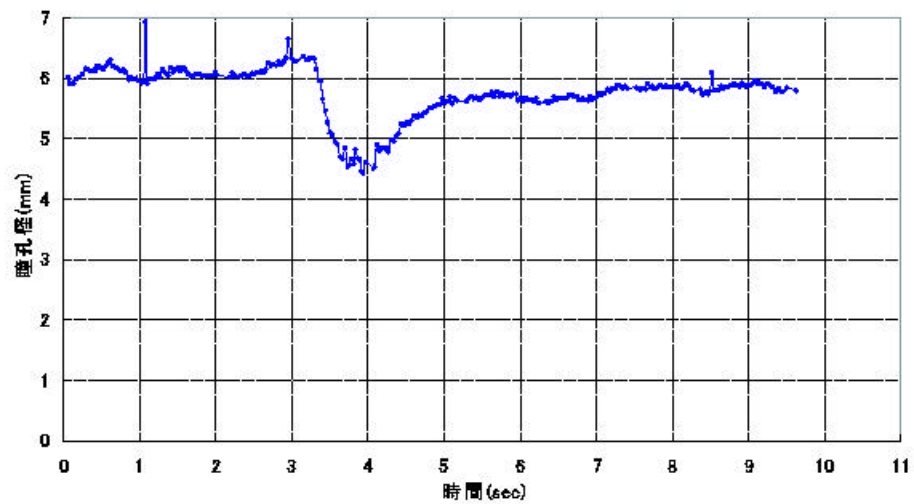


図 J.8: 被験者 G の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化



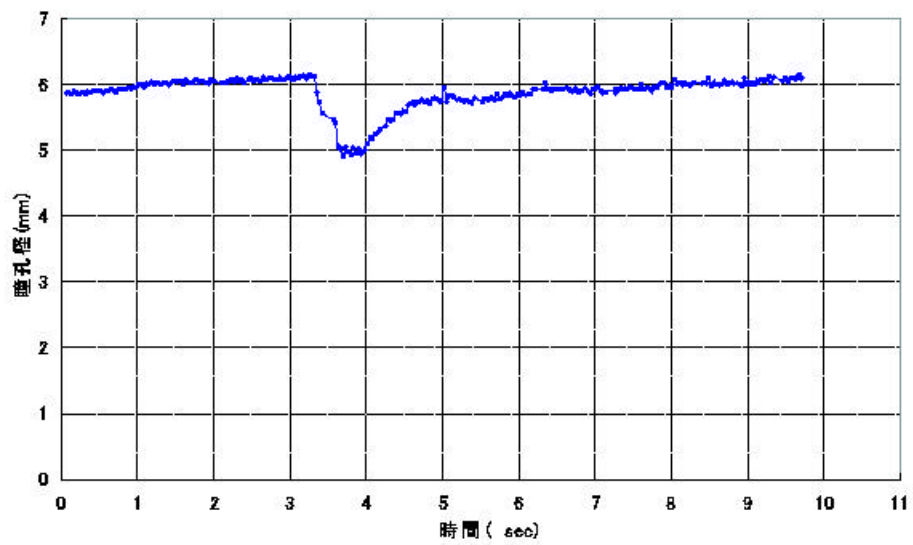


図 J.9: 被験者 H の対光反応測定時における左眼瞳孔径の変化

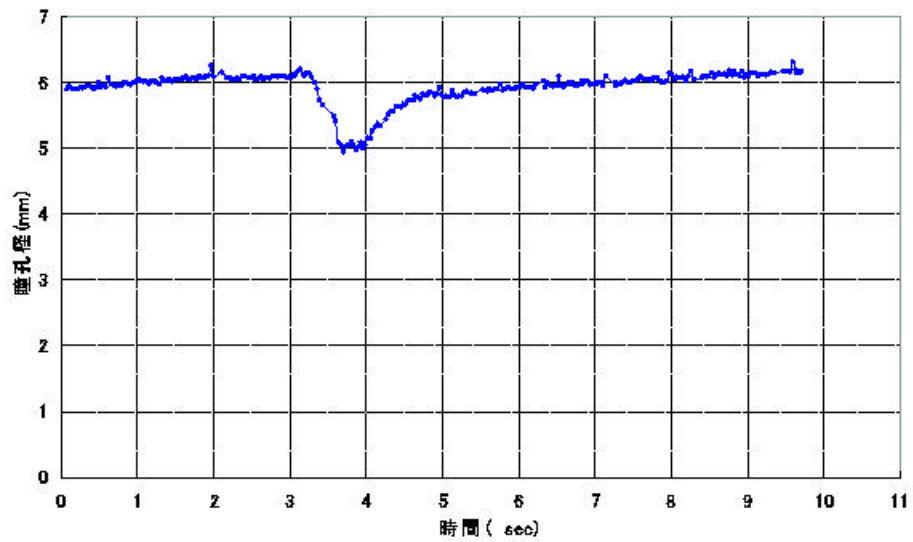


図 J.10: 被験者 H の対光反応測定時における右眼瞳孔径の変化

## 付録 K 追従運動計測実験の結果

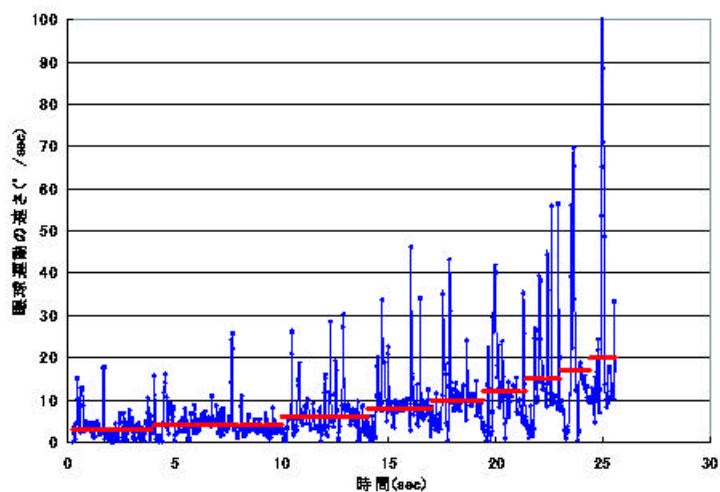


図 K.1: ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目)

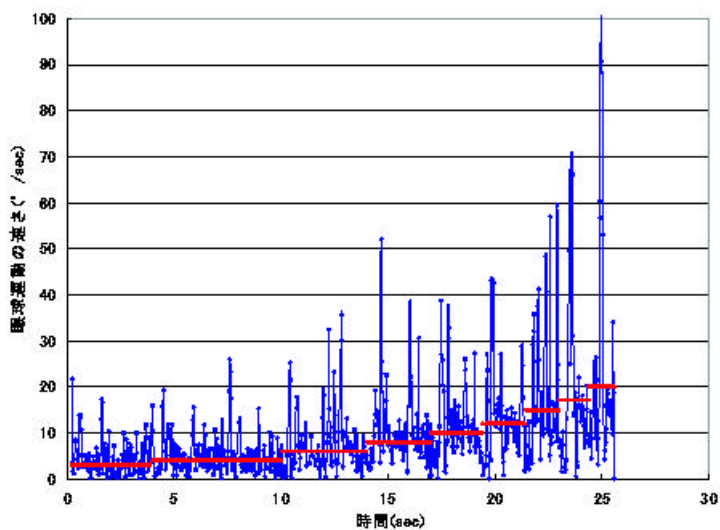


図 K.2: ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目)

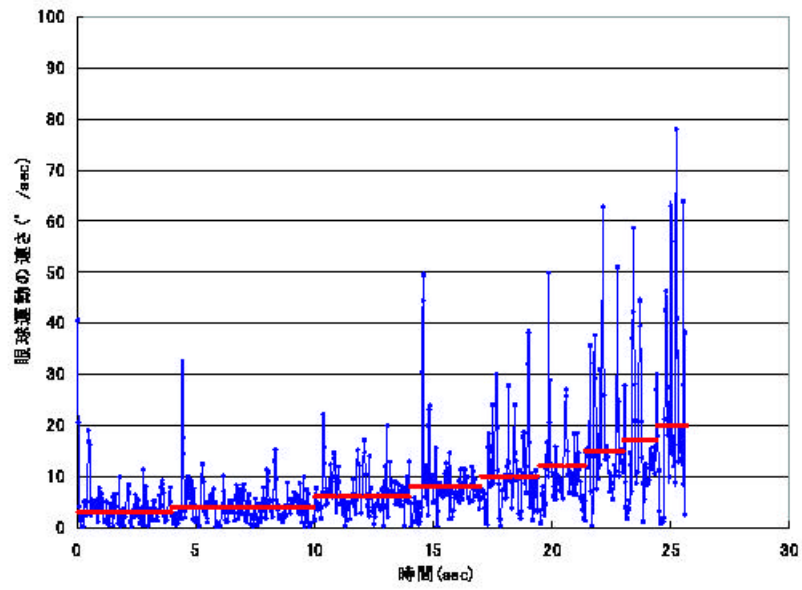


図 K.3: ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目)

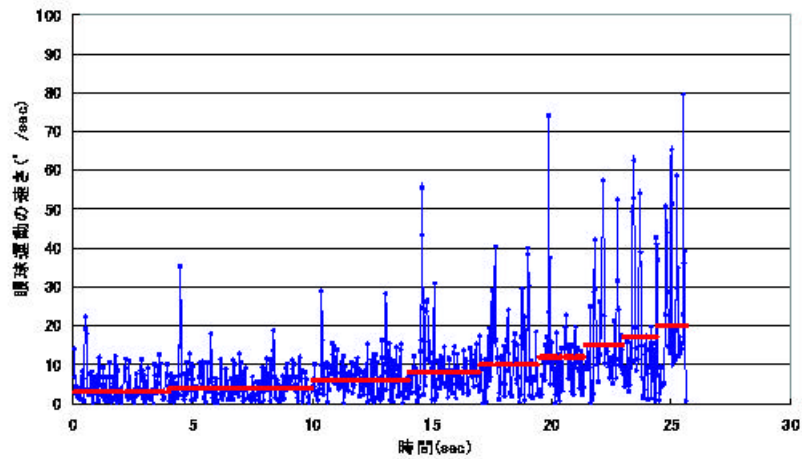


図 K.4: ターゲット増速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目)

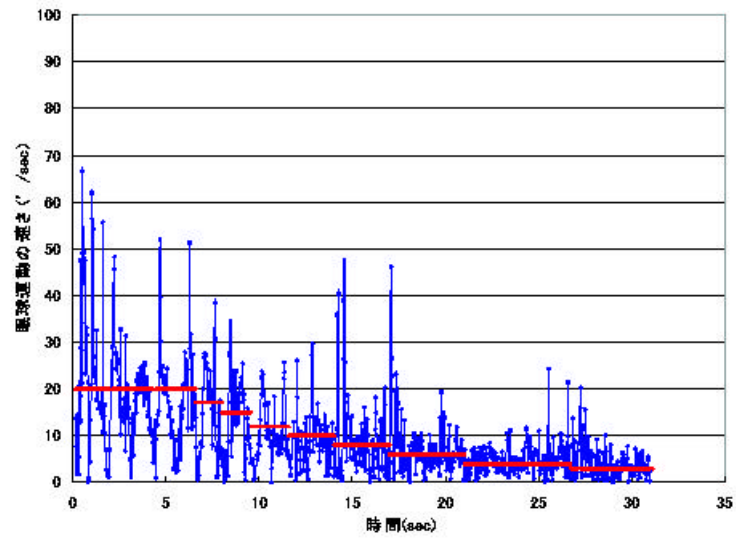


図 K.5: ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目)

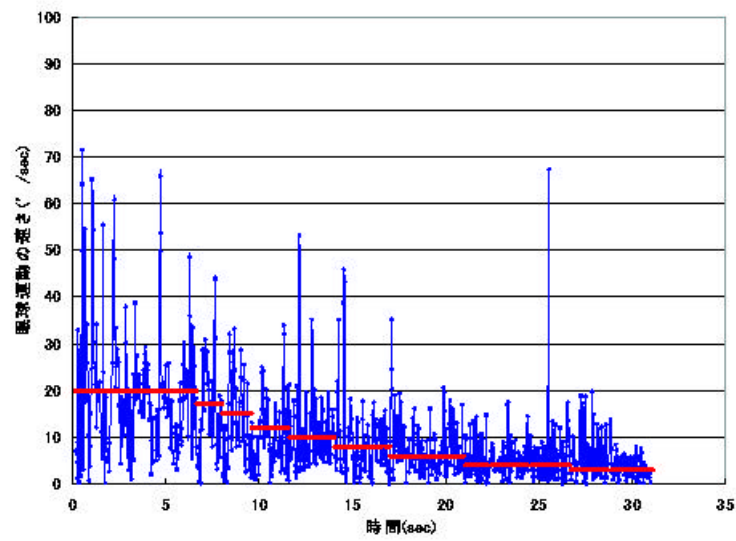


図 K.6: ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目)

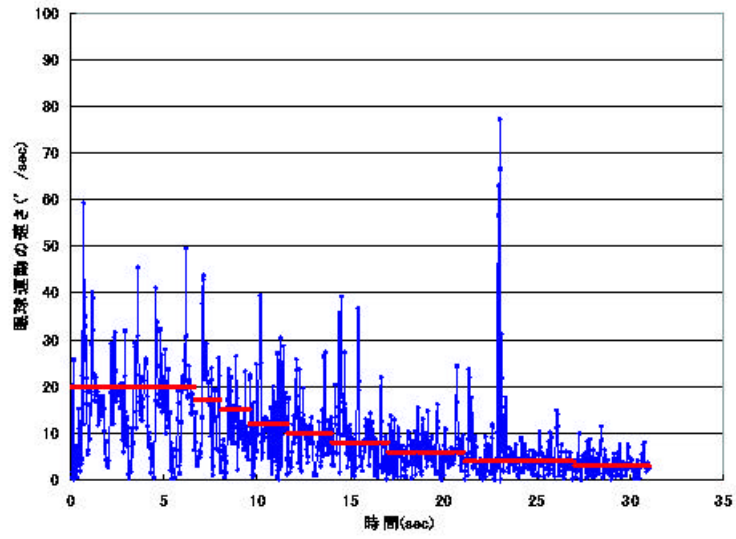


図 K.7: ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目)

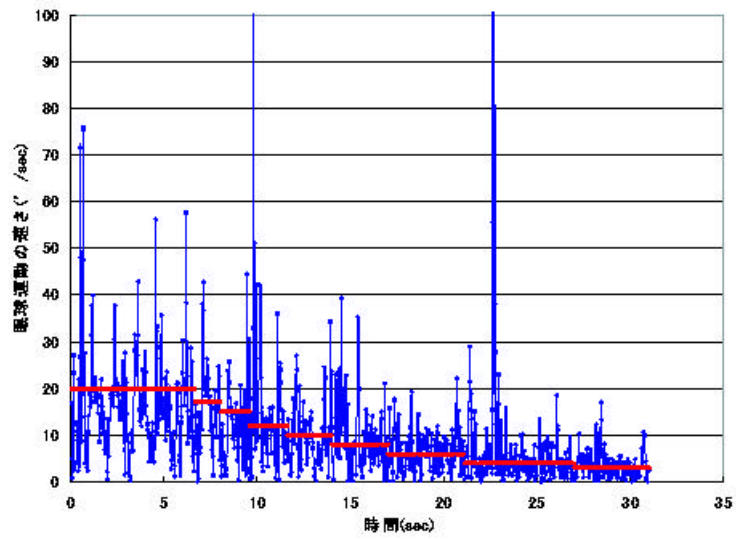


図 K.8: ターゲット減速時の被験者 D の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目)

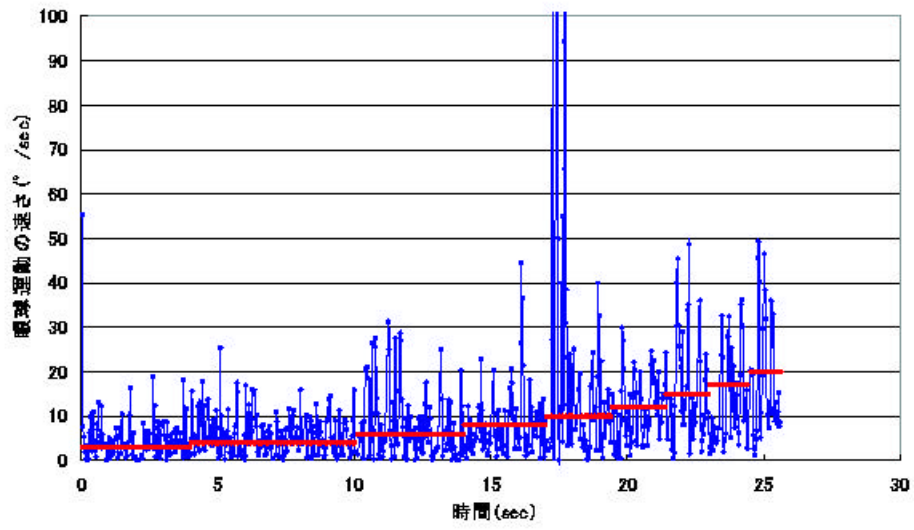


図 K.9: ターゲット増速時の被験者Eの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(1回目)

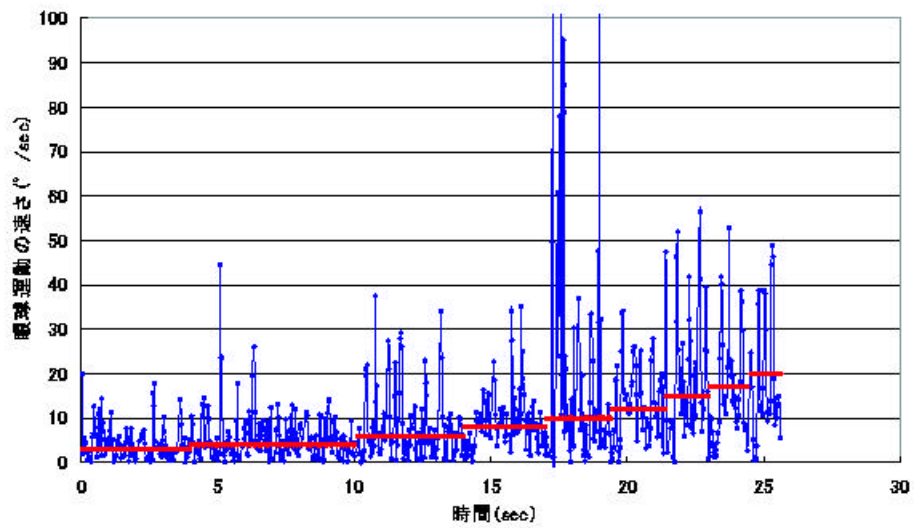


図 K.10: ターゲット増速時の被験者Eの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(1回目)

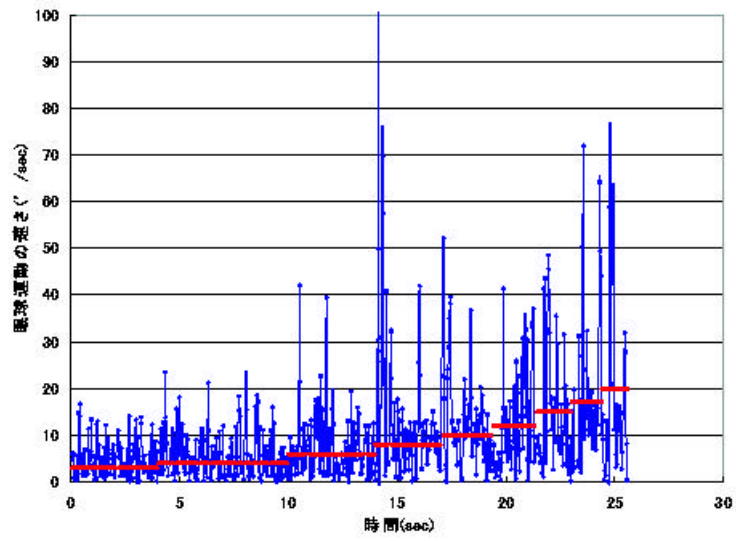


図 K.11: ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目)

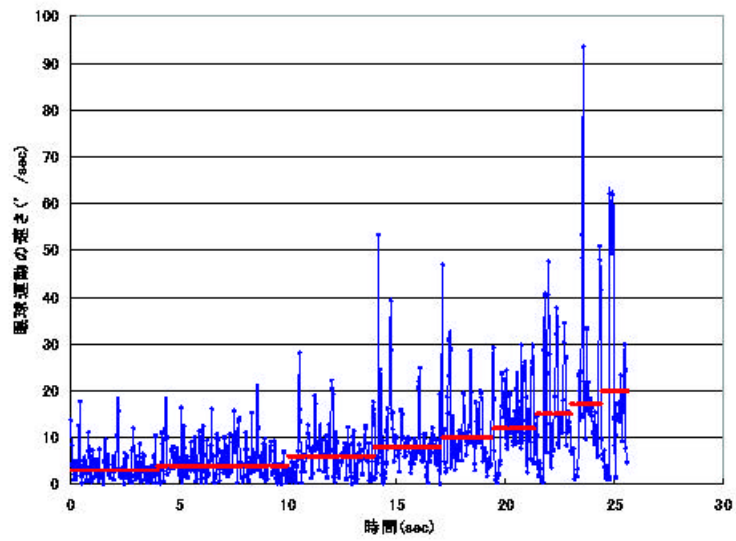


図 K.12: ターゲット増速時の被験者 E の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目)

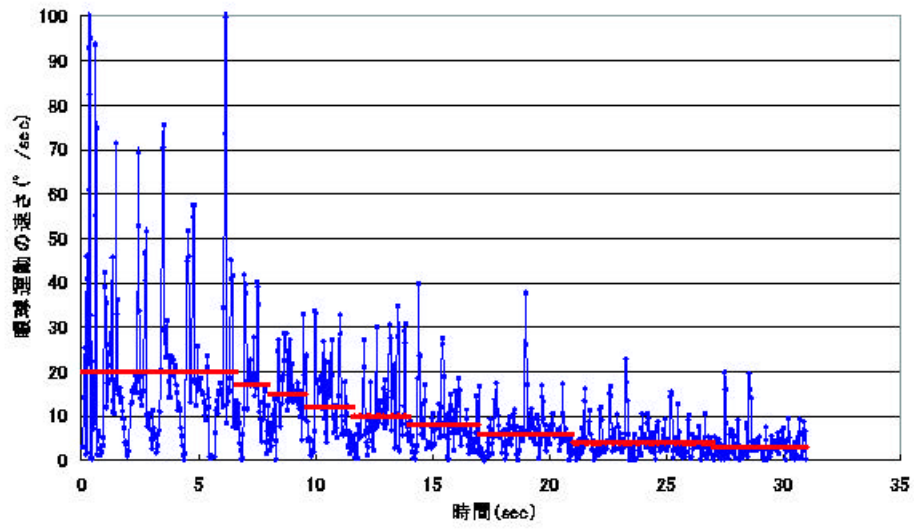


図 K.13: ターゲット減速時の被験者Eの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(1回目)

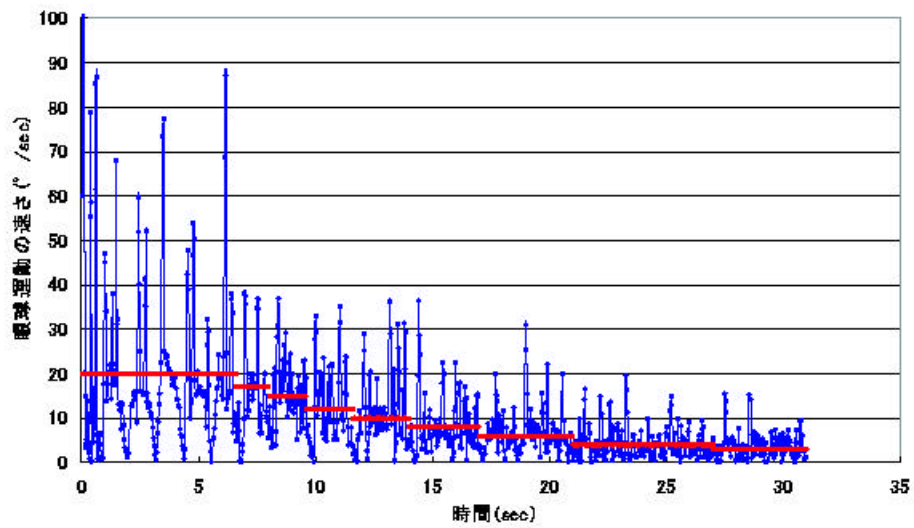


図 K.14: ターゲット減速時の被験者Eの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(1回目)



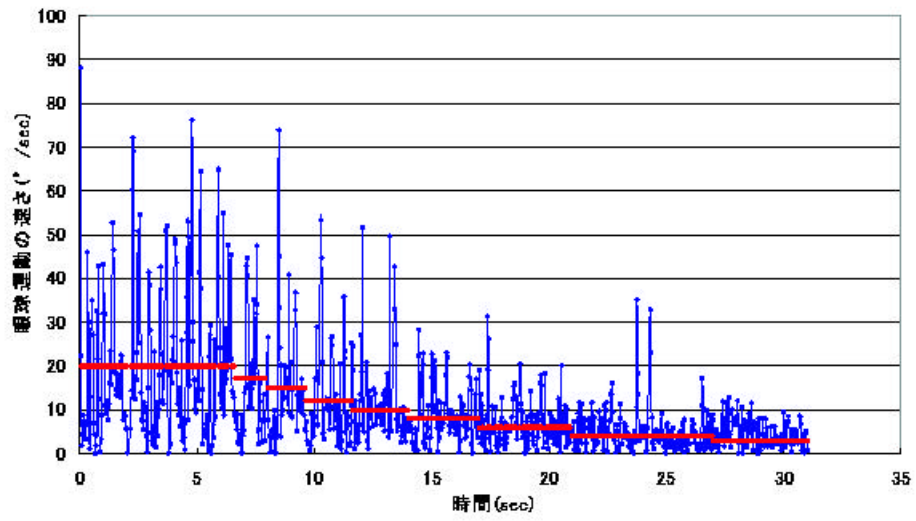


図 K.15: ターゲット減速時の被験者Eの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(2回目)

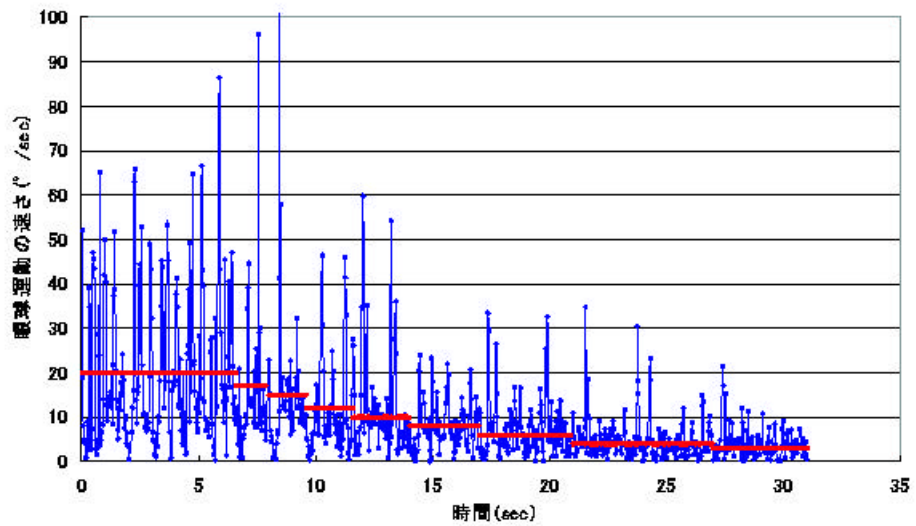


図 K.16: ターゲット減速時の被験者Eの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(2回目)

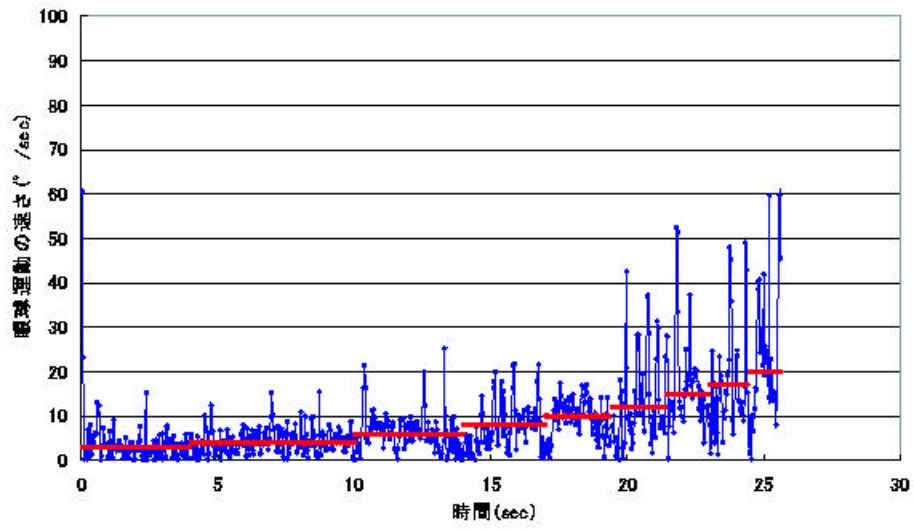


図 K.17: ターゲット増速時の被験者Fの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(1回目)

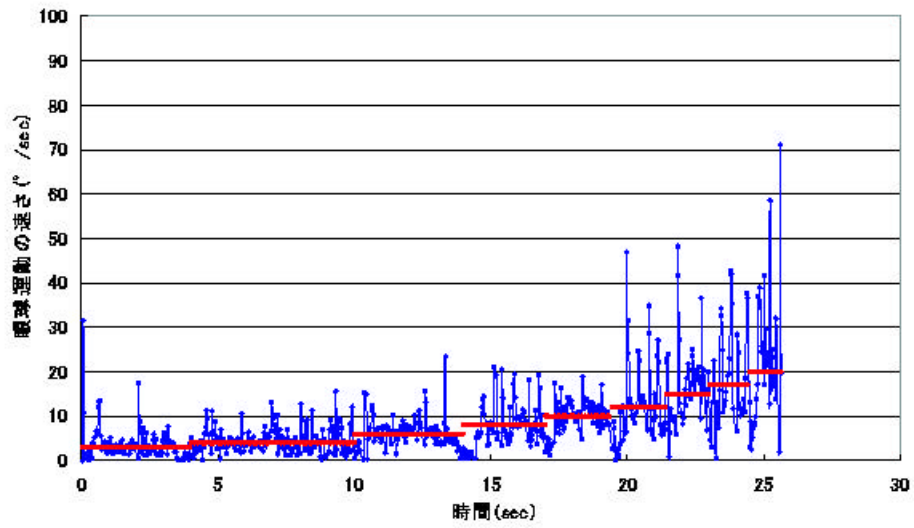


図 K.18: ターゲット増速時の被験者Fの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(1回目)

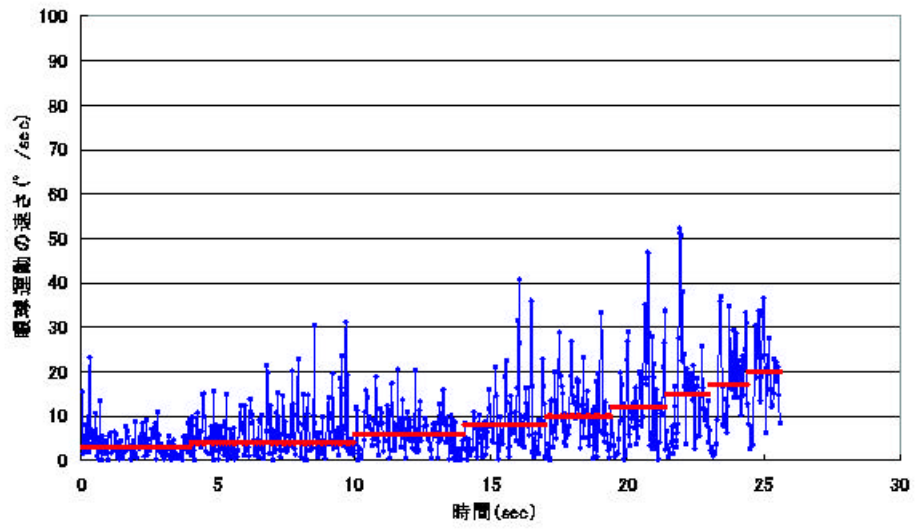


図 K.19: ターゲット増速時の被験者Fの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(2回目)

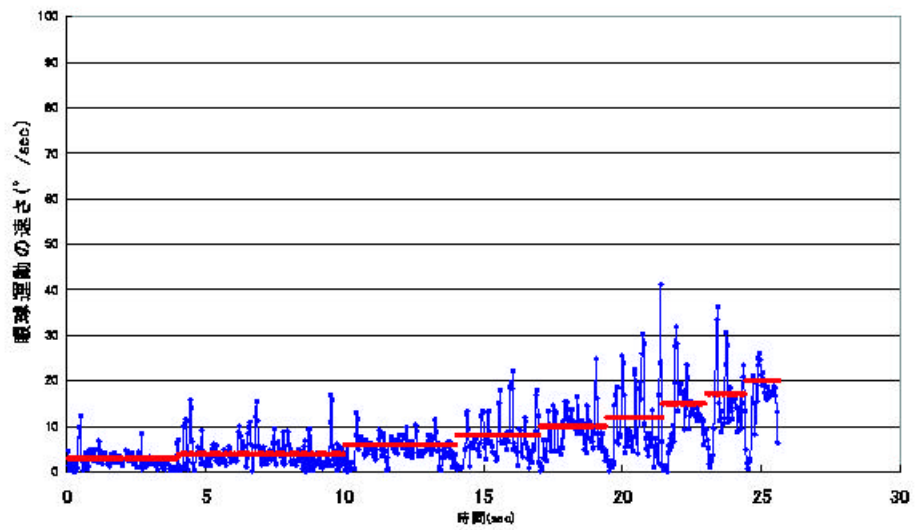


図 K.20: ターゲット増速時の被験者Fの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(2回目)

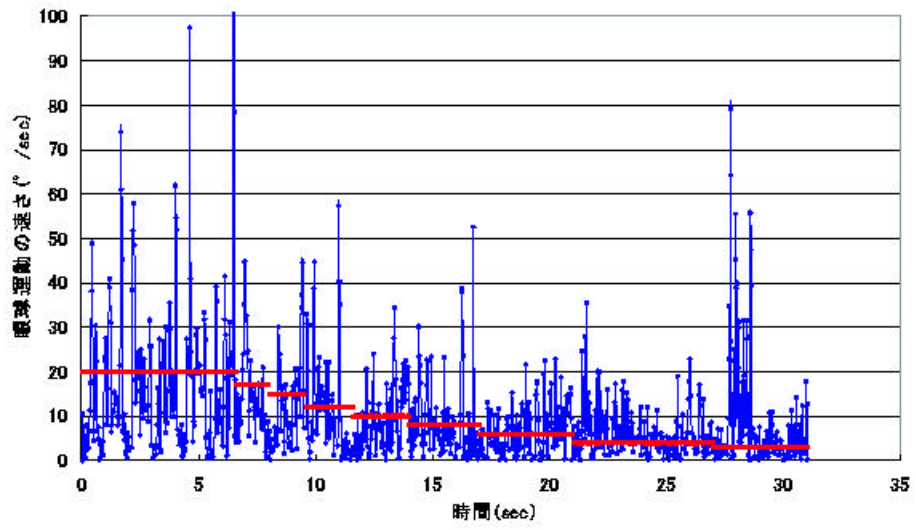


図 K.21: ターゲット減速時の被験者Fの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(1回目)

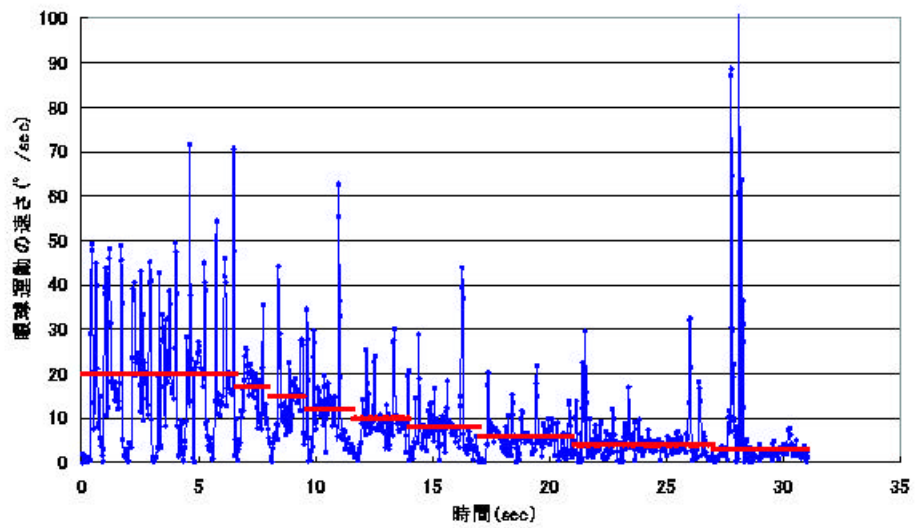


図 K.22: ターゲット減速時の被験者Fの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(1回目)

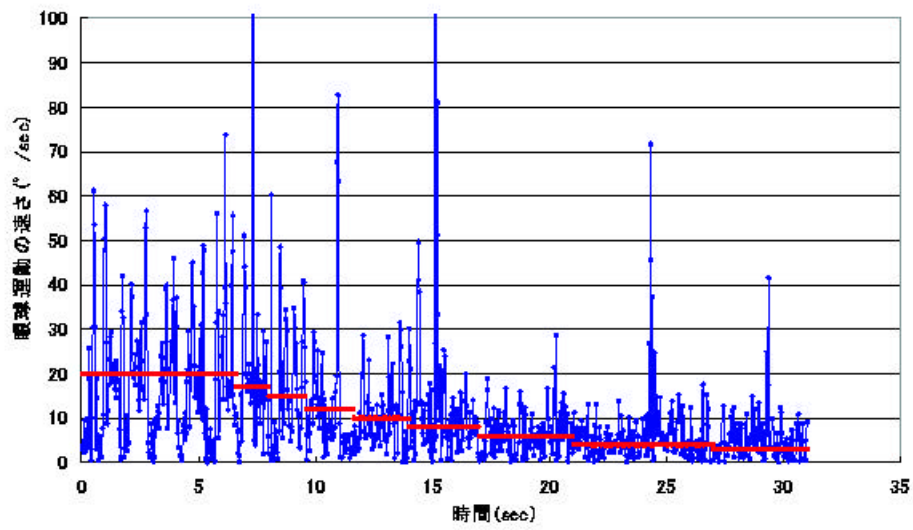


図 K.23: ターゲット減速時の被験者Fの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(2回目)

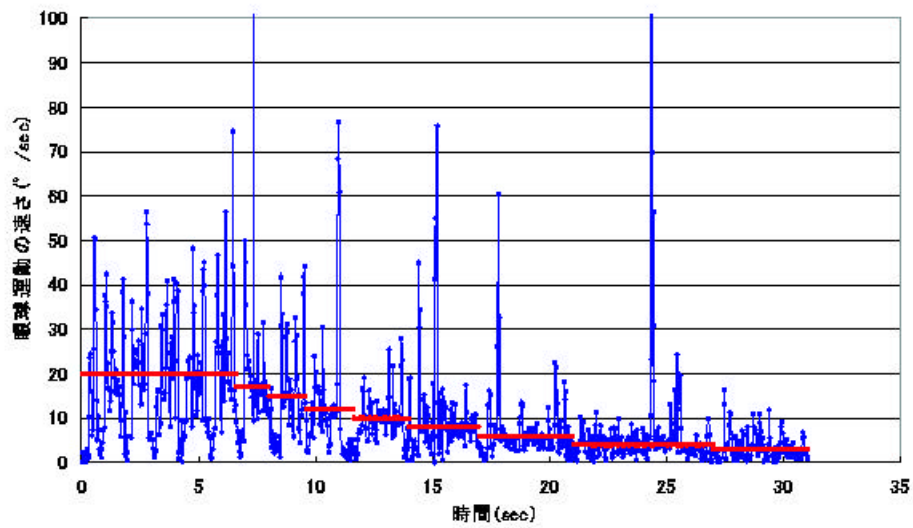


図 K.24: ターゲット減速時の被験者Fの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(2回目)

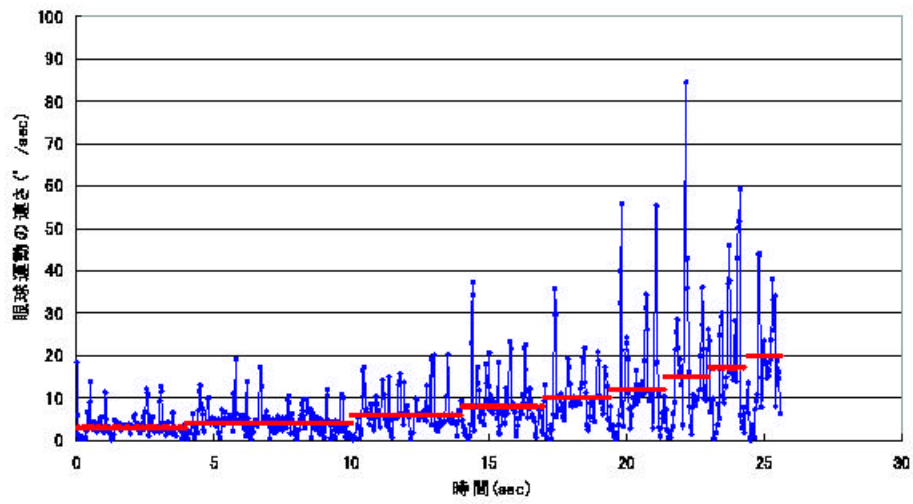


図 K.25: ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目)

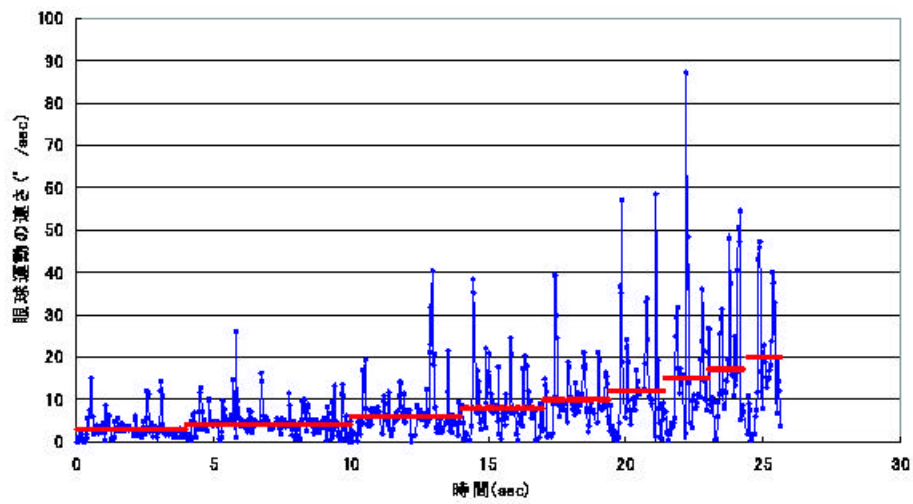


図 K.26: ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目)

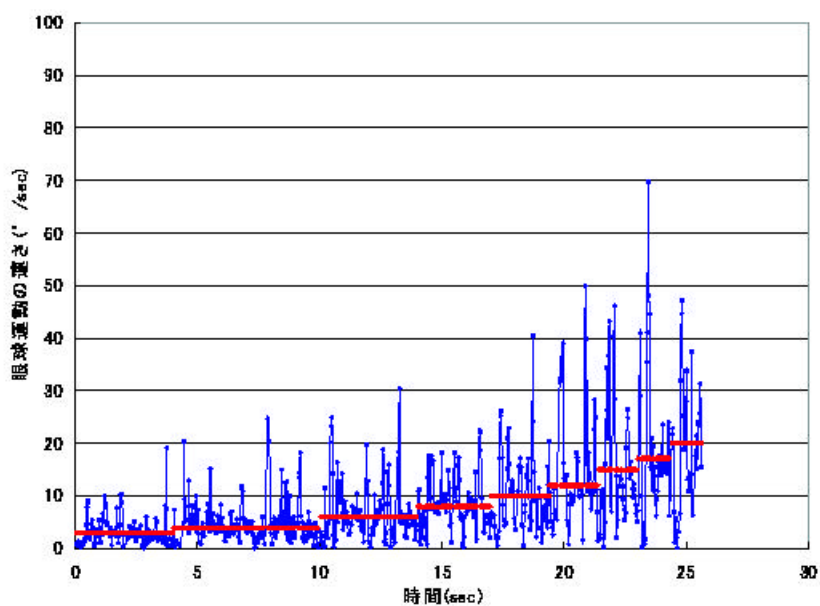


図 K.27: ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目)

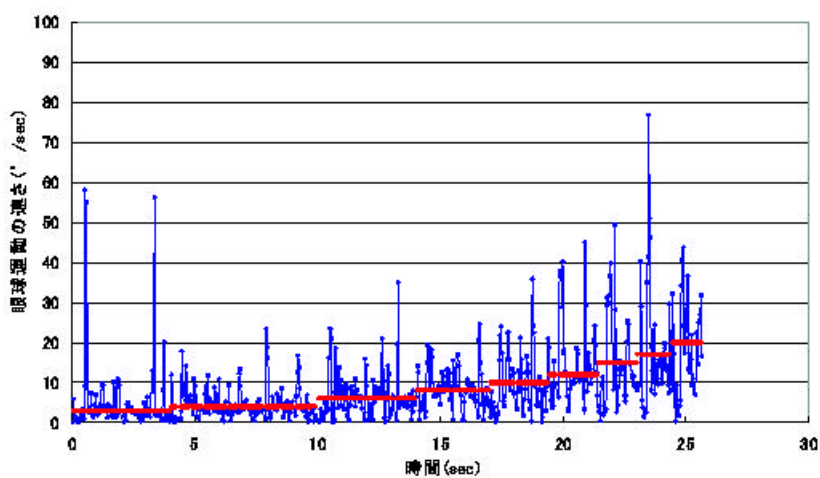


図 K.28: ターゲット増速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目)

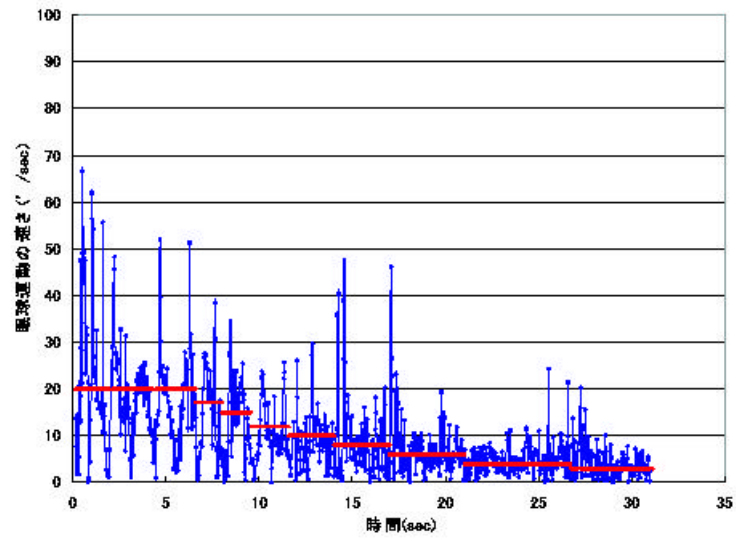


図 K.29: ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1 回目)

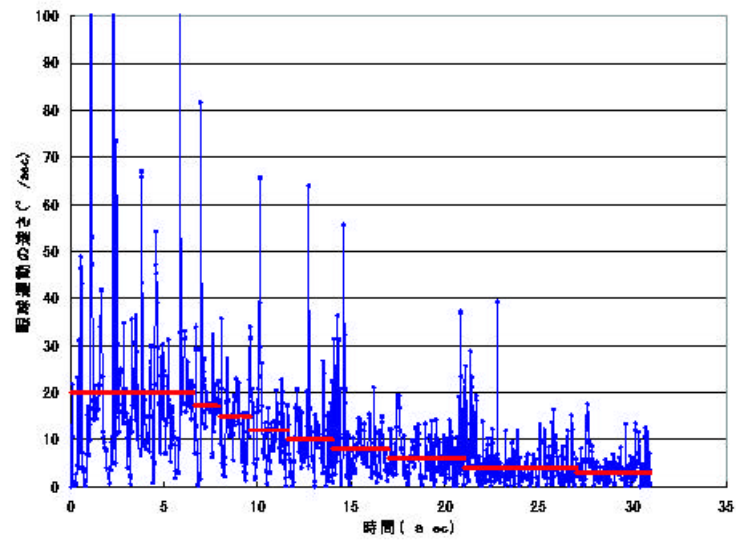


図 K.30: ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1 回目)



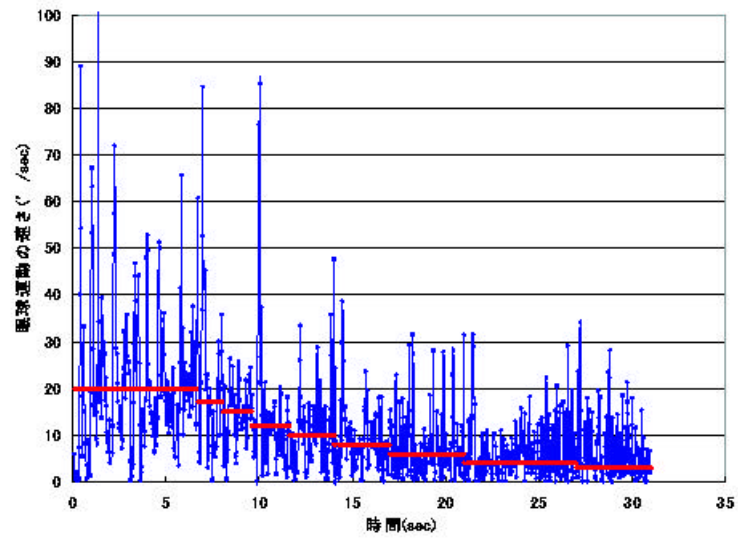


図 K.31: ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2 回目)

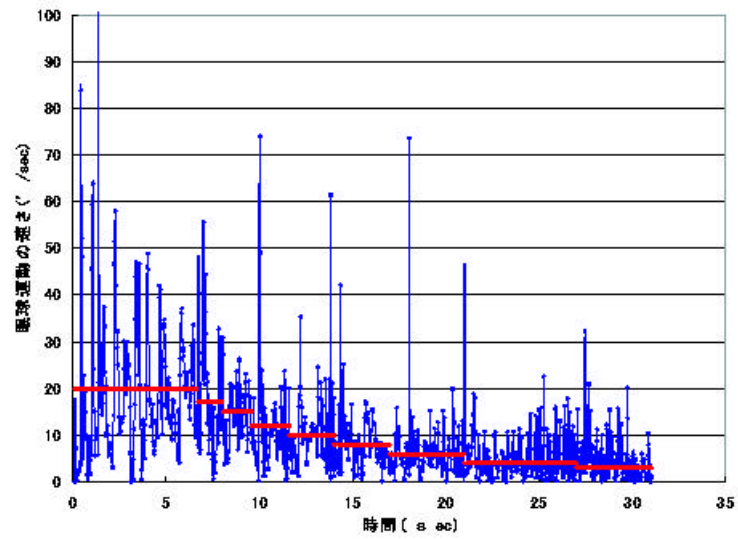


図 K.32: ターゲット減速時の被験者 G の移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2 回目)

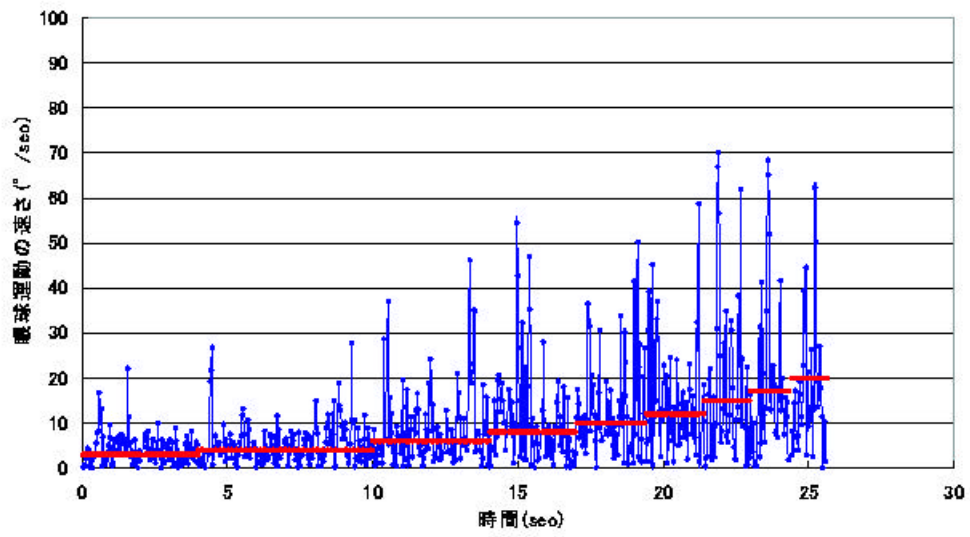


図 K.33: ターゲット増速時の被験者Hの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ(1回目)

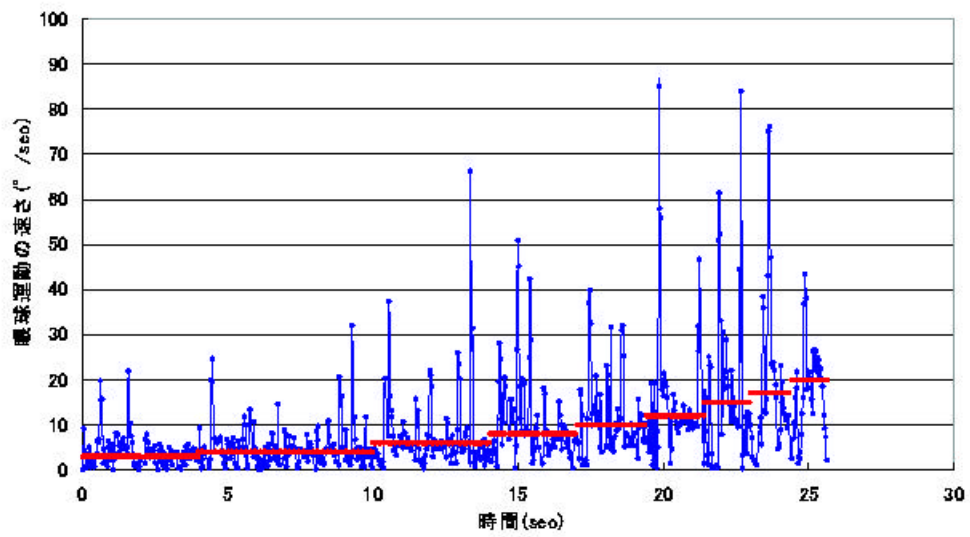


図 K.34: ターゲット増速時の被験者Hの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ(1回目)

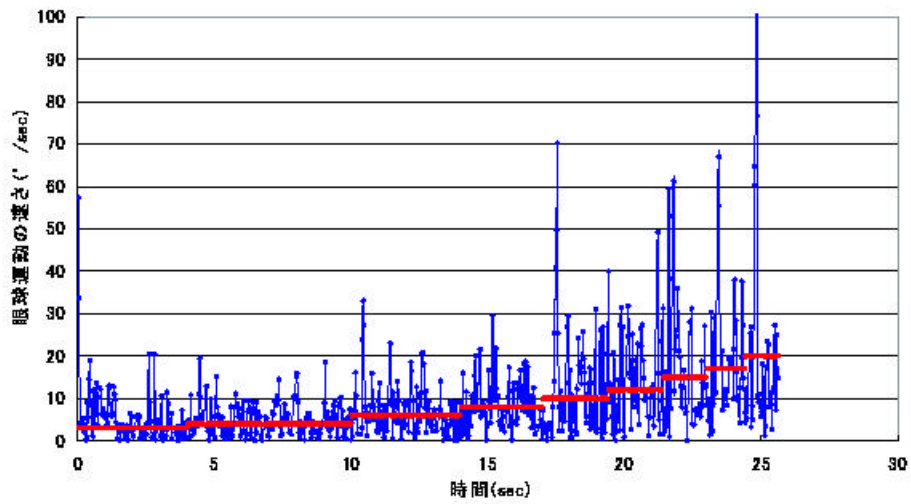


図 K.35: ターゲット増速時の被験者Hの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2回目)

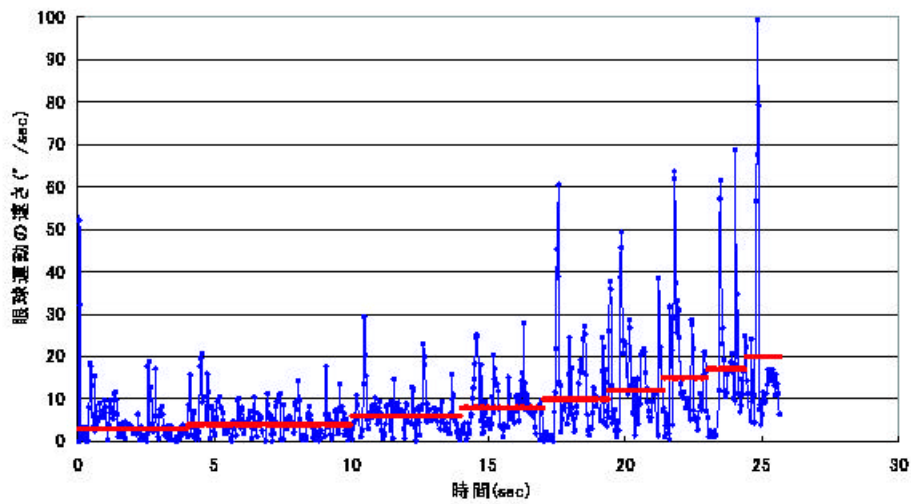


図 K.36: ターゲット増速時の被験者Hの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2回目)

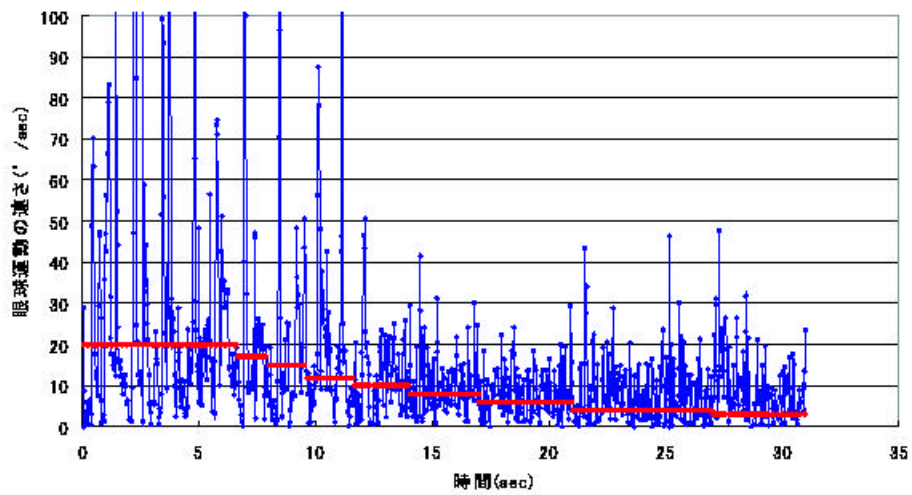


図 K.37: ターゲット減速時の被験者Hの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (1回目)

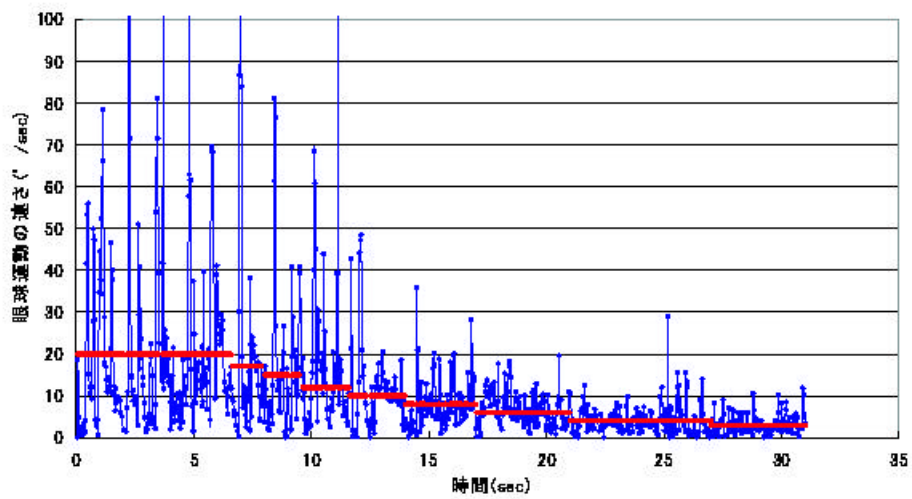


図 K.38: ターゲット減速時の被験者Hの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (1回目)

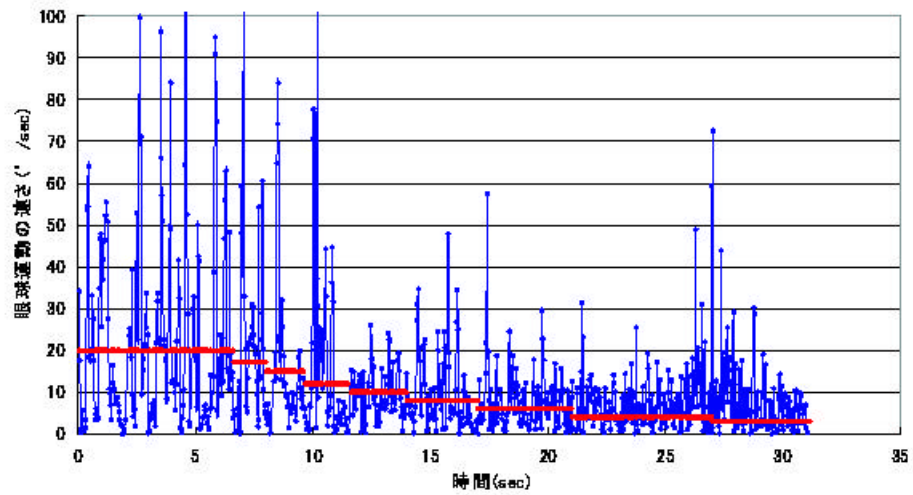


図 K.39: ターゲット減速時の被験者Hの移動平均をとった左眼眼球運動の速さ (2回目)

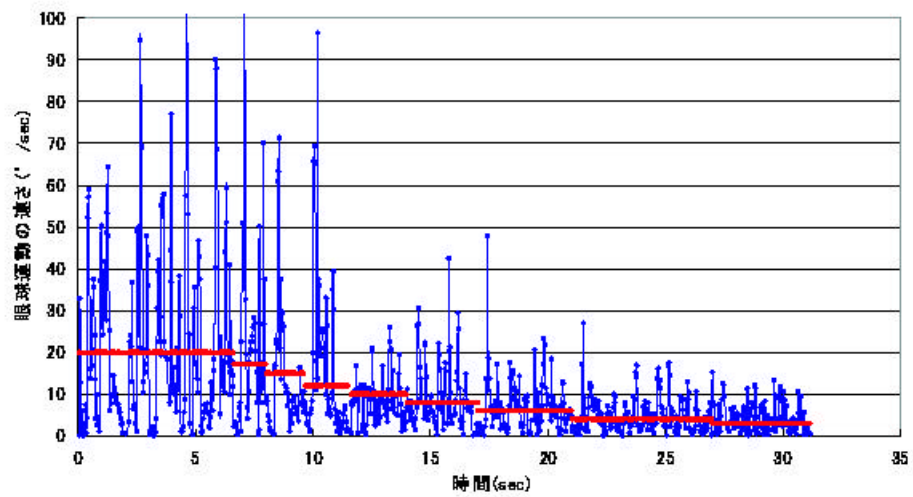


図 K.40: ターゲット減速時の被験者Hの移動平均をとった右眼眼球運動の速さ (2回目)

## 付録 L 一点注視計測実験の結果

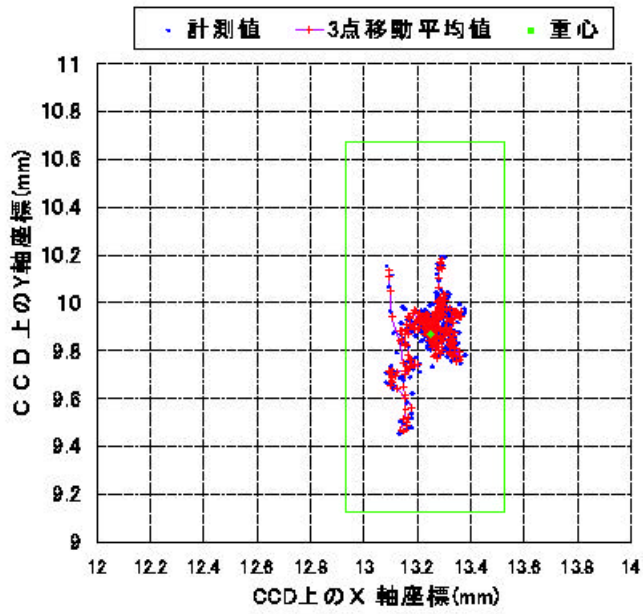


図 L.1: 一点注視時の被験者 D の左眼の視点位置

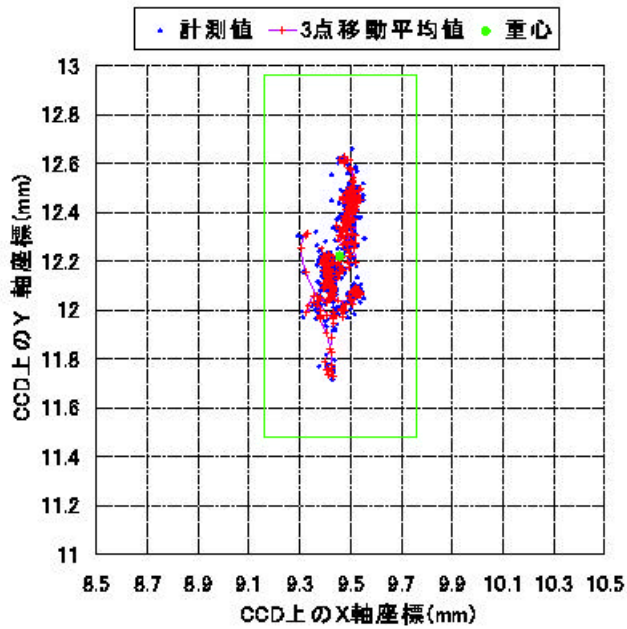


図 L.2: 一点注視時の被験者 D の右眼の視点位置

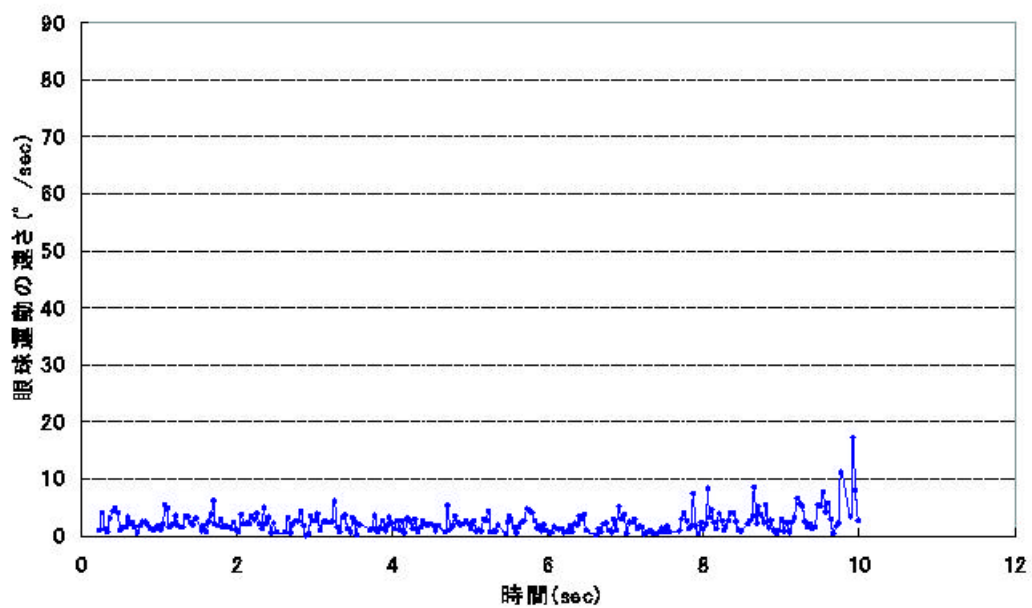


図 L.3: 一点注視時の被験者 D の左眼の眼球運動の速さ

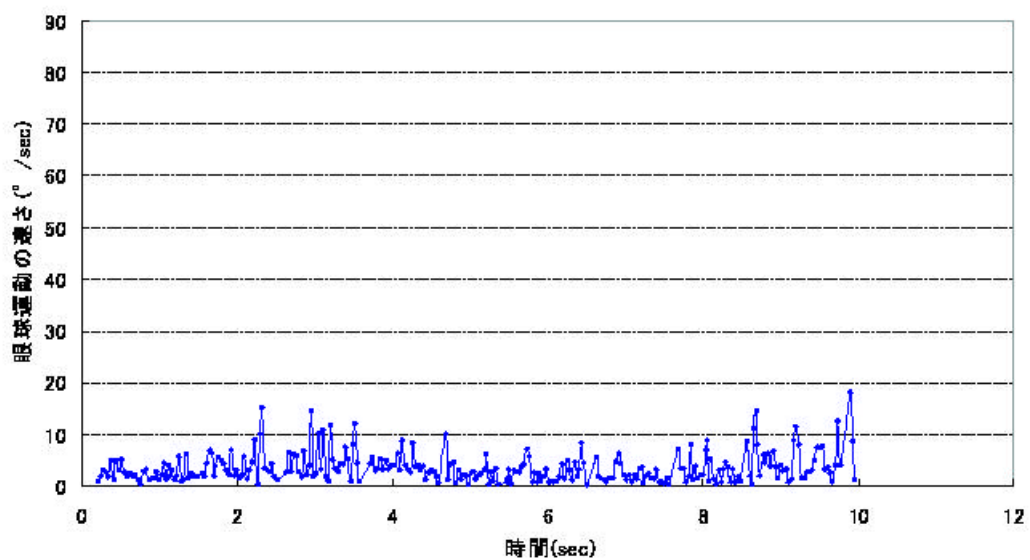


図 L.4: 一点注視時の被験者 D の右眼の眼球運動の速さ



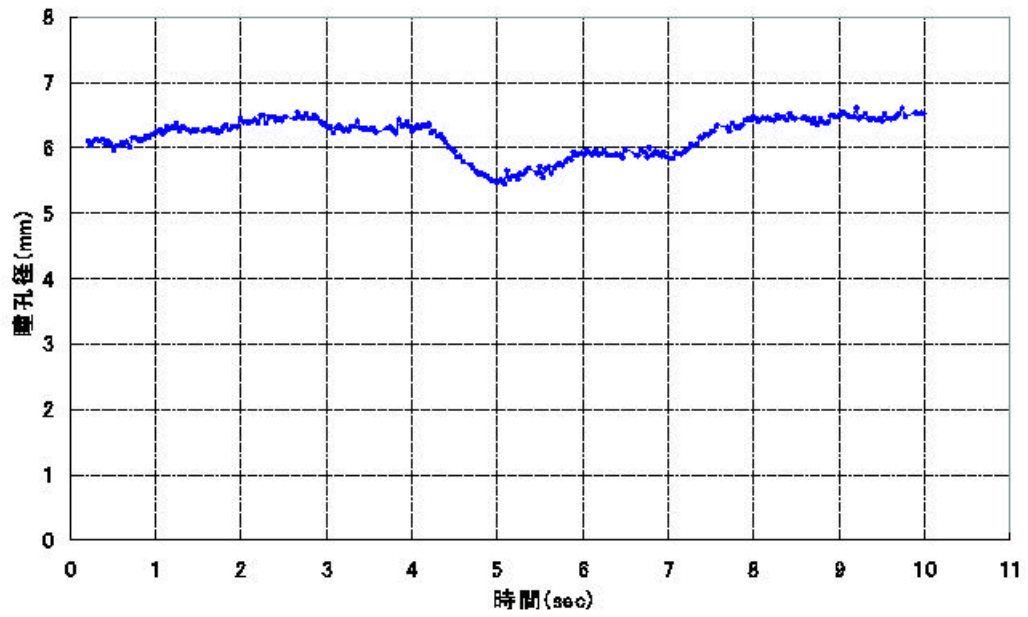


図 L.5: 一点注視時の被験者 D の左眼瞳孔径変化

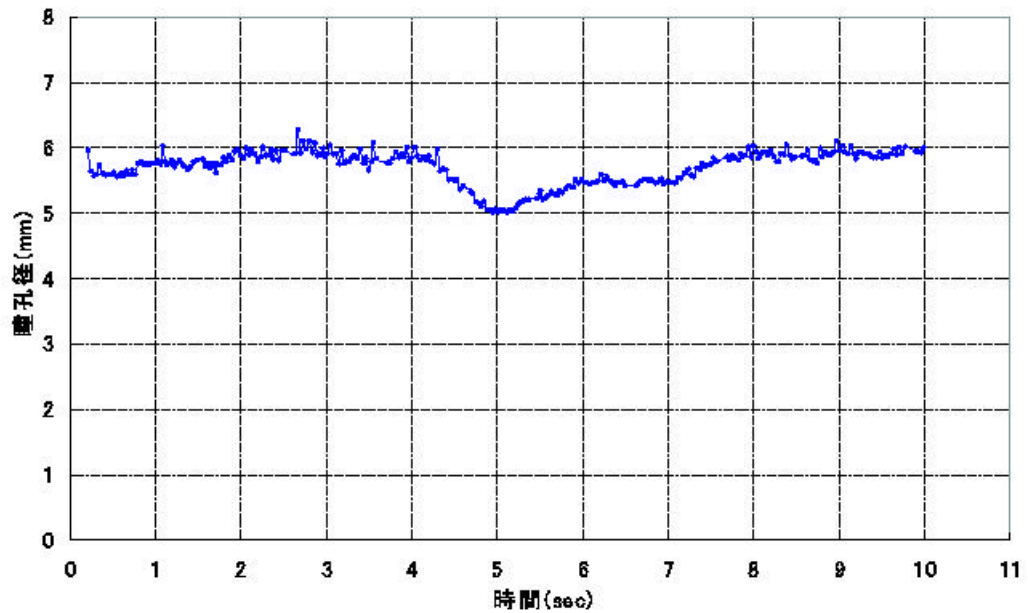


図 L.6: 一点注視時の被験者 D の右眼瞳孔径変化

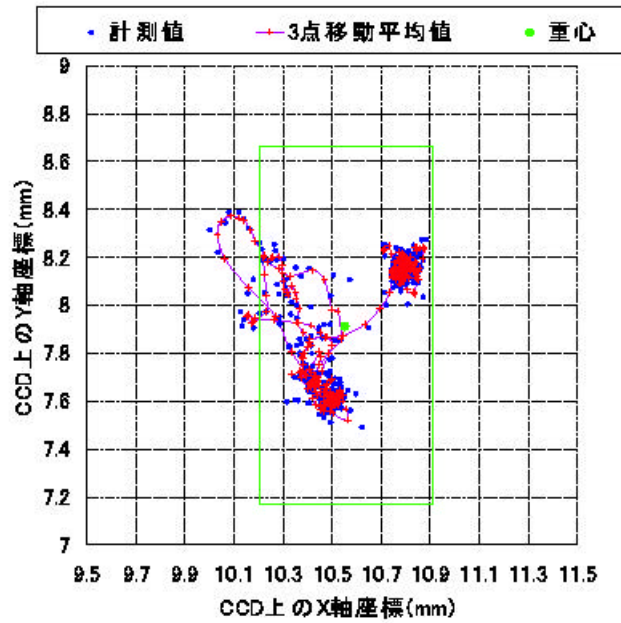


図 L.7: 一点注視時の被験者 E の左眼の視点位置

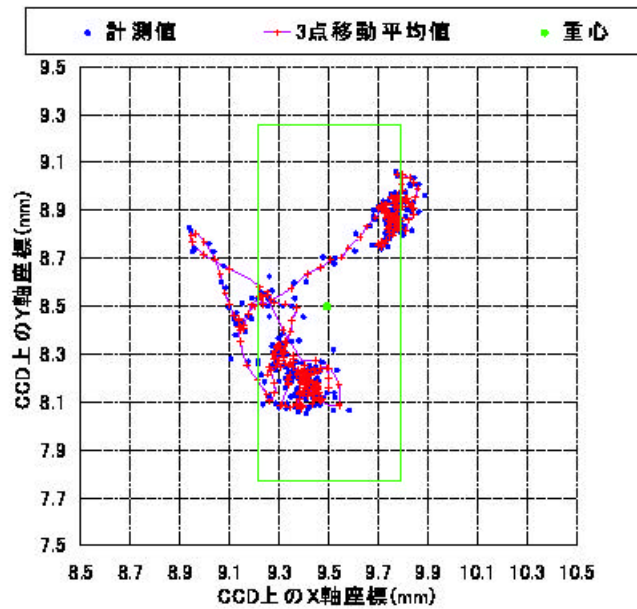


図 L.8: 一点注視時の被験者 E の右眼の視点位置

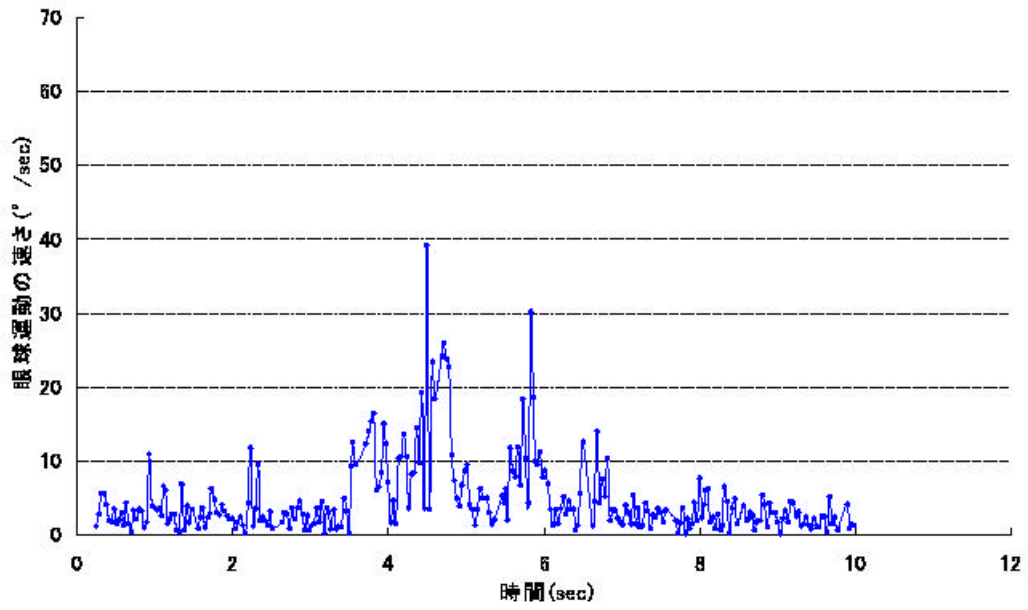


図 L.9: 一点注視時の被験者 E の左眼の眼球運動の速さ

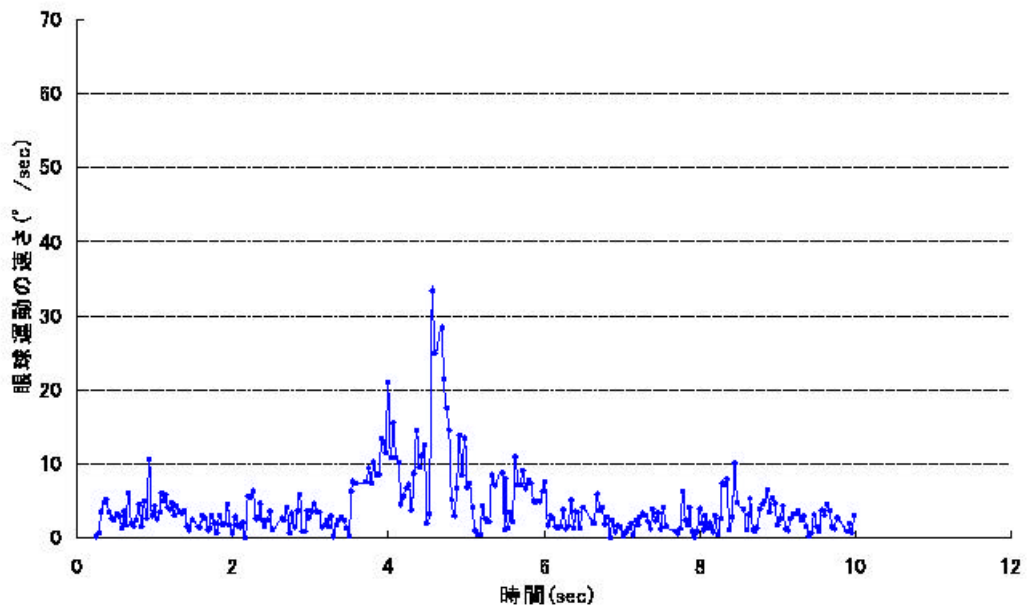


図 L.10: 一点注視時の被験者 E の右眼の眼球運動の速さ

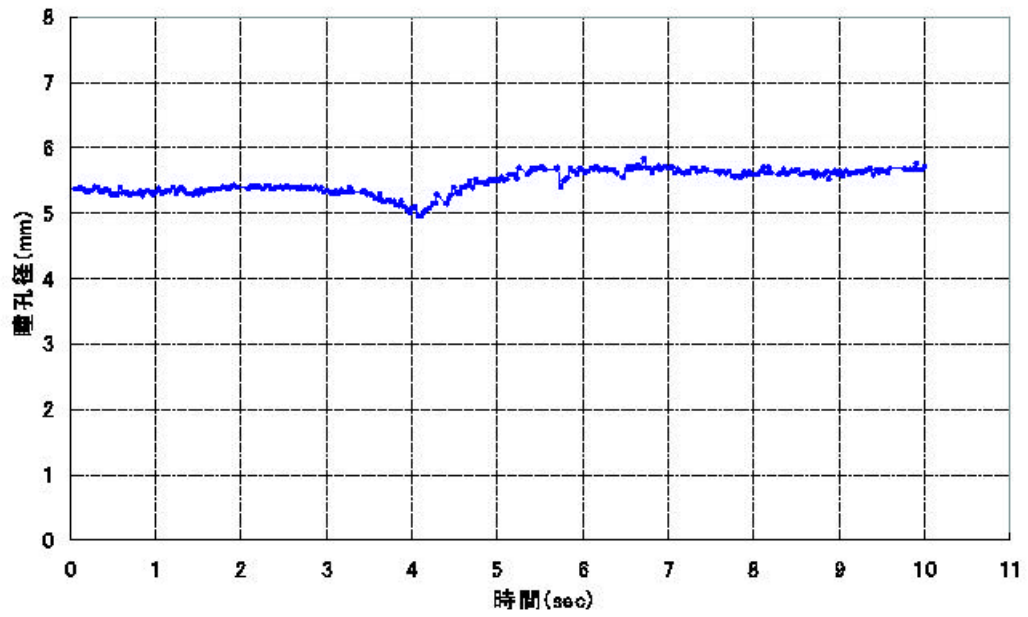


図 L.11: 一点注視時の被験者 E の左眼瞳孔径変化

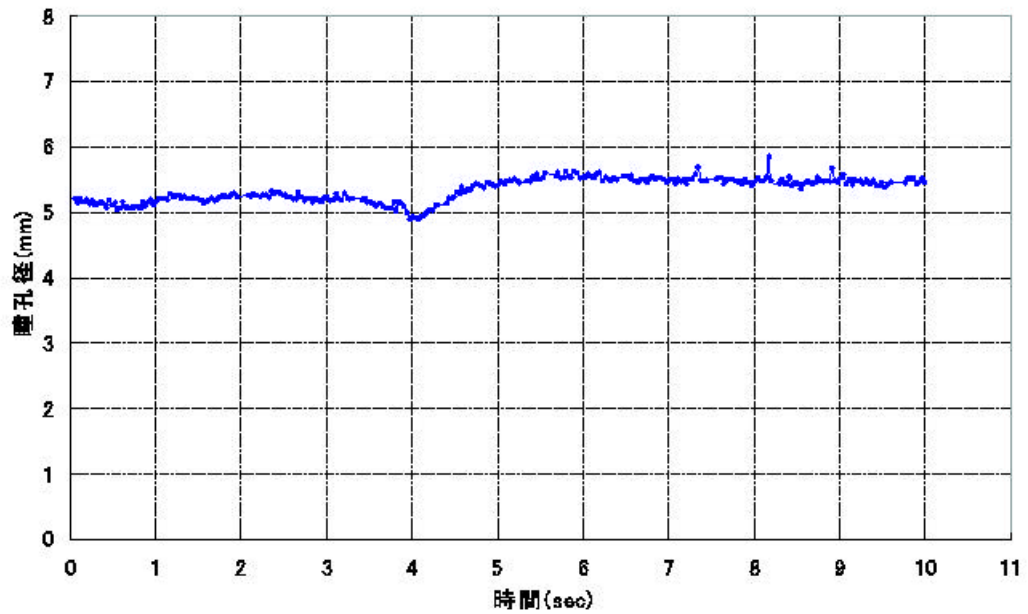


図 L.12: 一点注視時の被験者 E の右眼瞳孔径変化

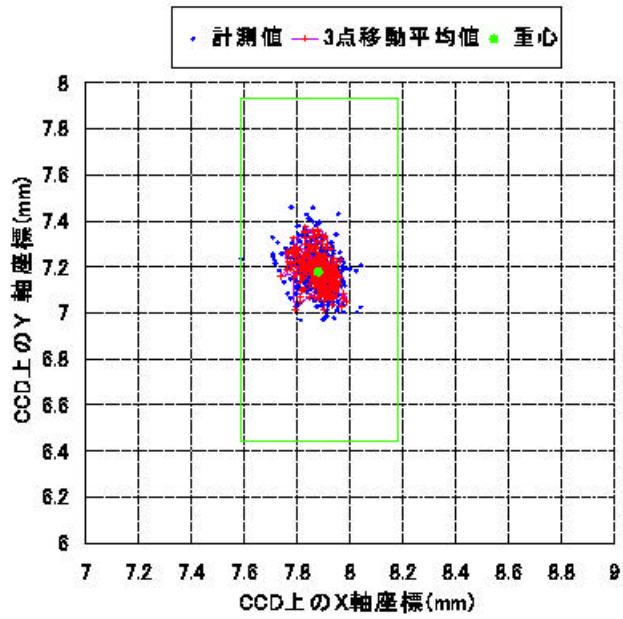


図 L.13: 一点注視時の被験者 F の左眼の視点位置

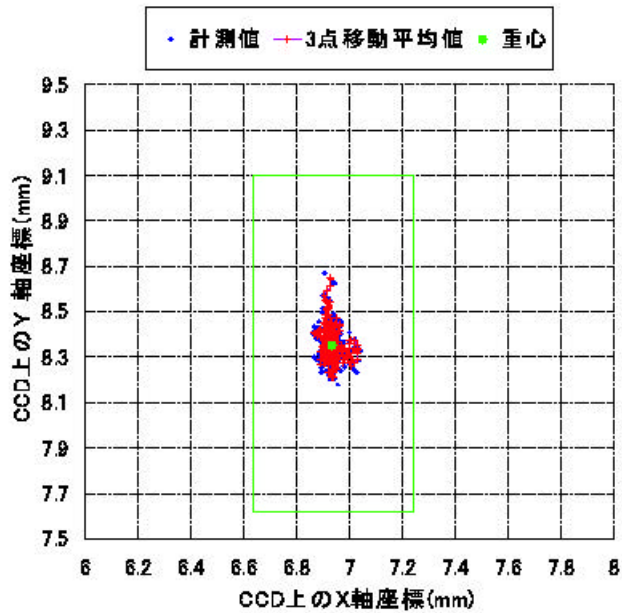


図 L.14: 一点注視時の被験者 F の右眼の視点位置

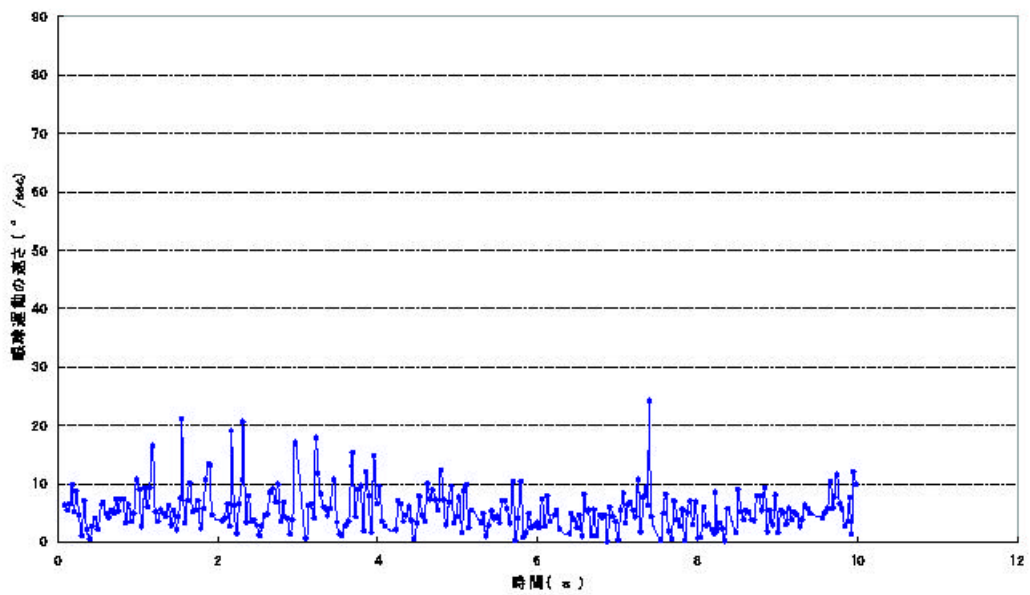


図 L.15: 一点注視時の被験者 F の左眼の眼球運動の速さ

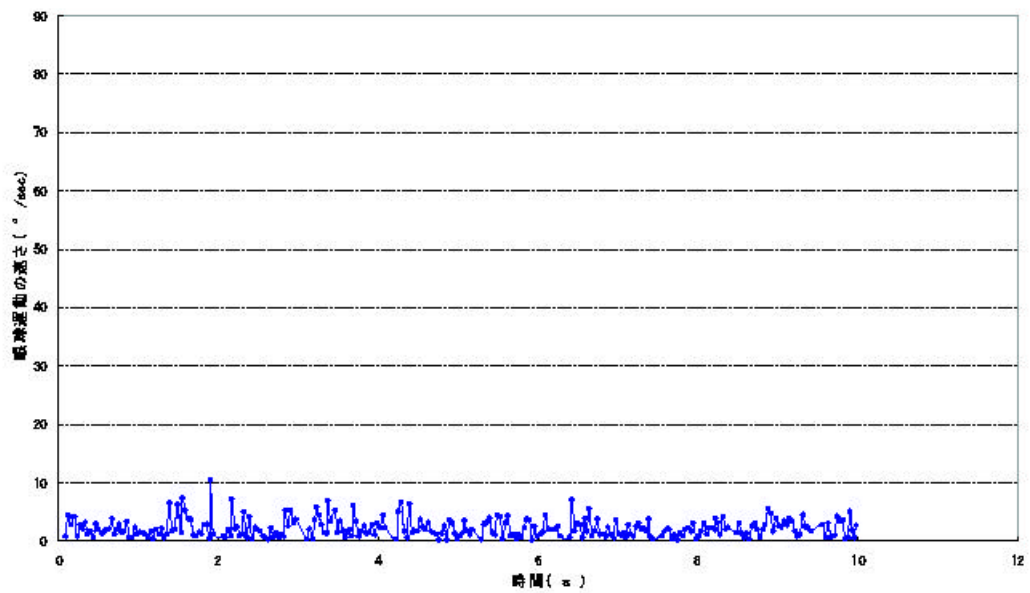


図 L.16: 一点注視時の被験者 F の右眼の眼球運動の速さ

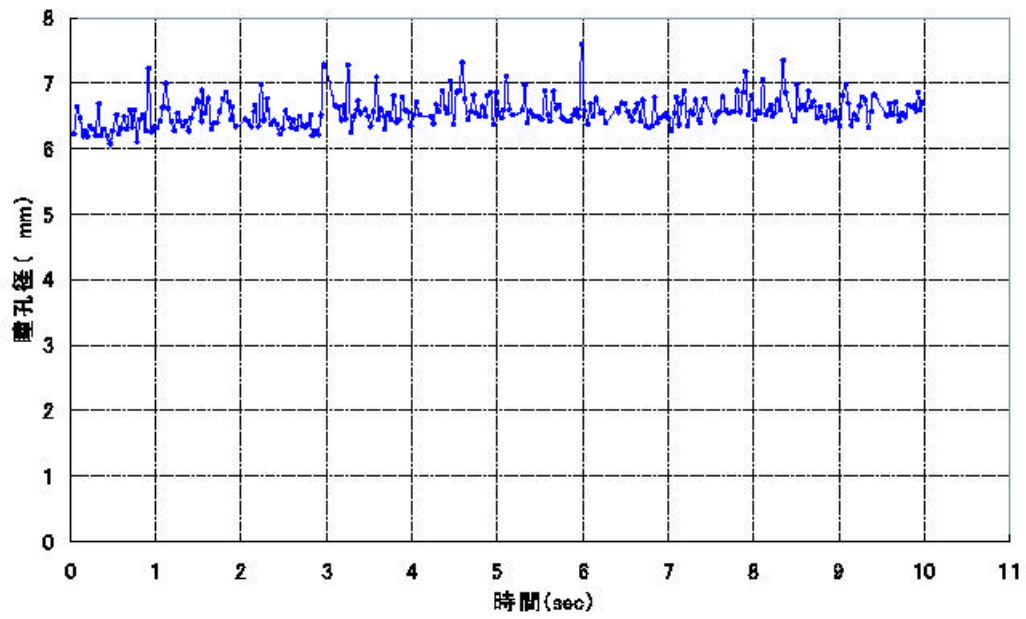


図 L.17: 一点注視時の被験者 F の左眼瞳孔径変化

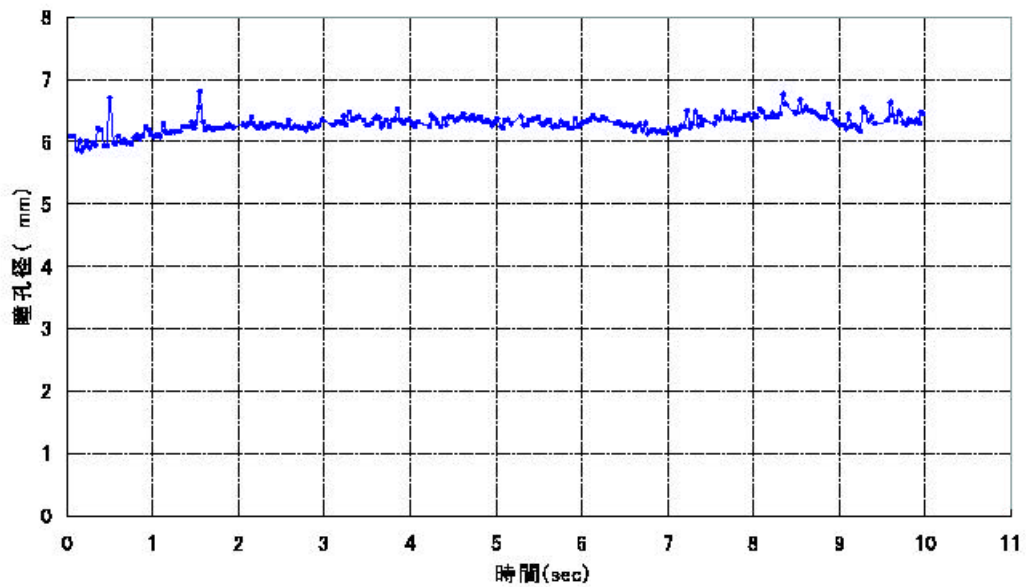


図 L.18: 一点注視時の被験者 F の右眼瞳孔径変化

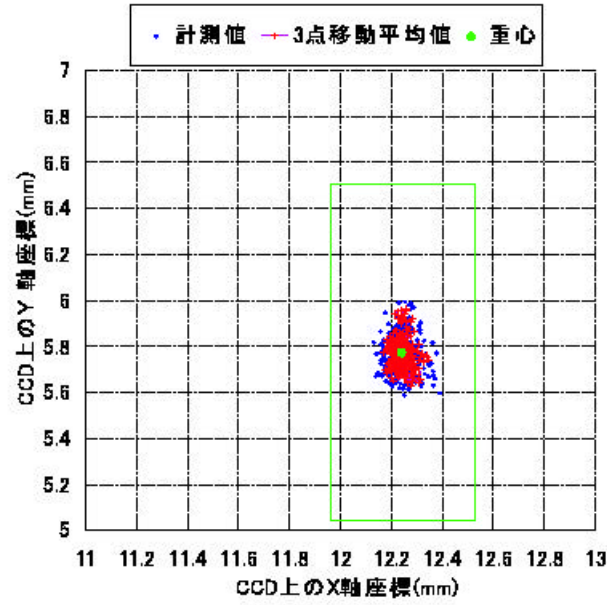


図 L.19: 一点注視時の被験者 G の左眼の視点位置

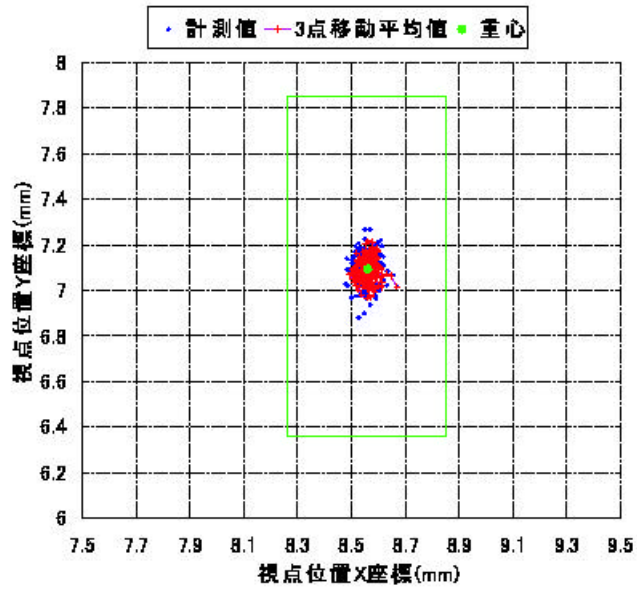


図 L.20: 一点注視時の被験者 G の右眼の視点位置



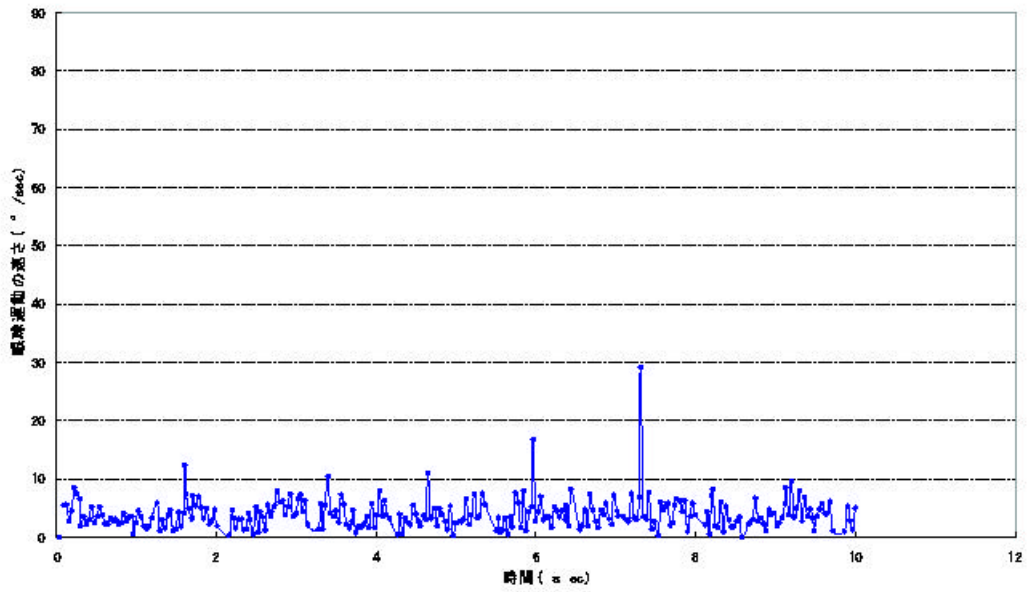


図 L.21: 一点注視時の被験者 G の左眼の眼球運動の速さ

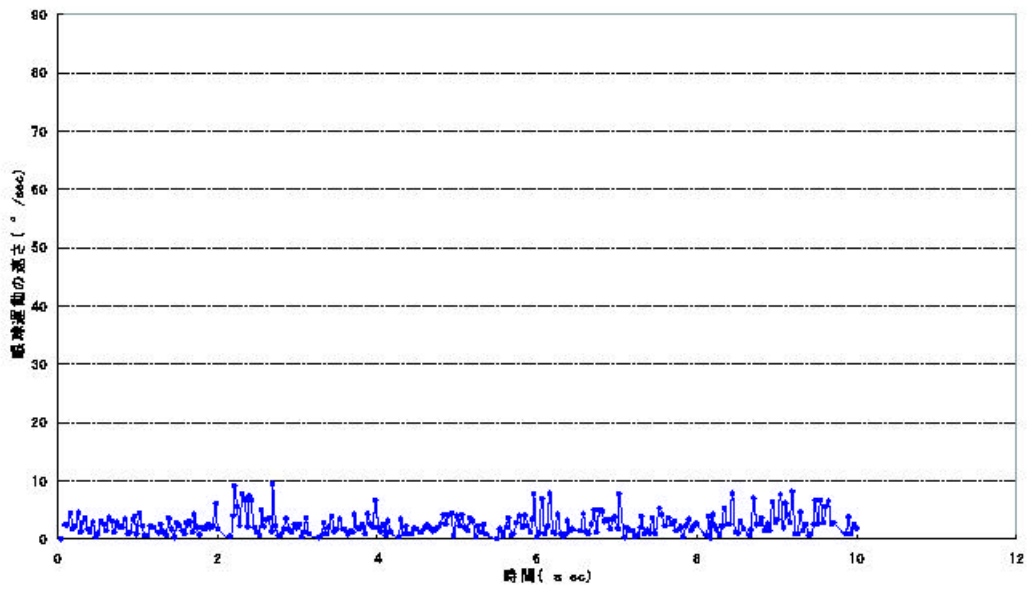


図 L.22: 一点注視時の被験者 G の右眼の眼球運動の速さ

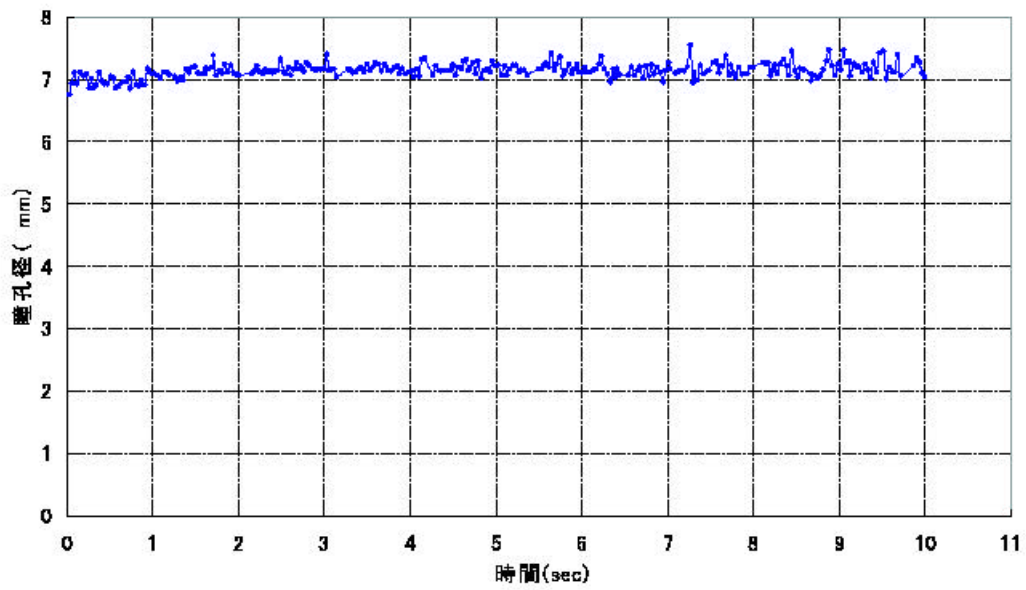


図 L.23: 一点注視時の被験者 G の左眼瞳孔径変化

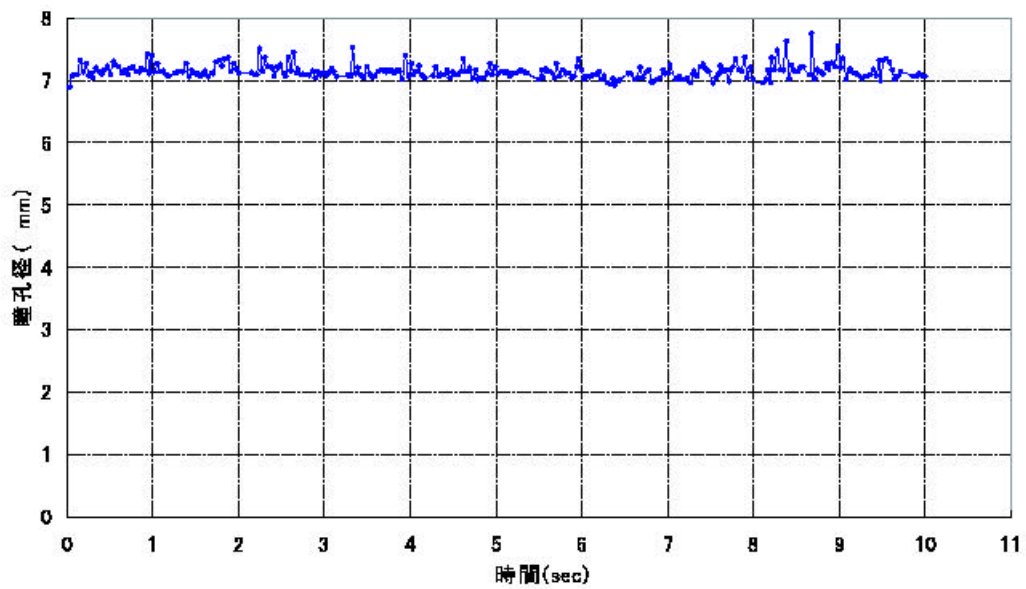


図 L.24: 一点注視時の被験者 G の右眼瞳孔径変化

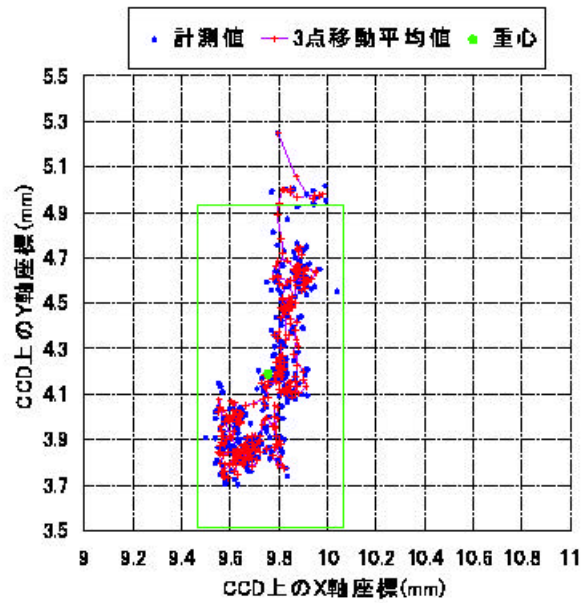


図 L.25: 一点注視時の被験者 H の左眼の視点位置

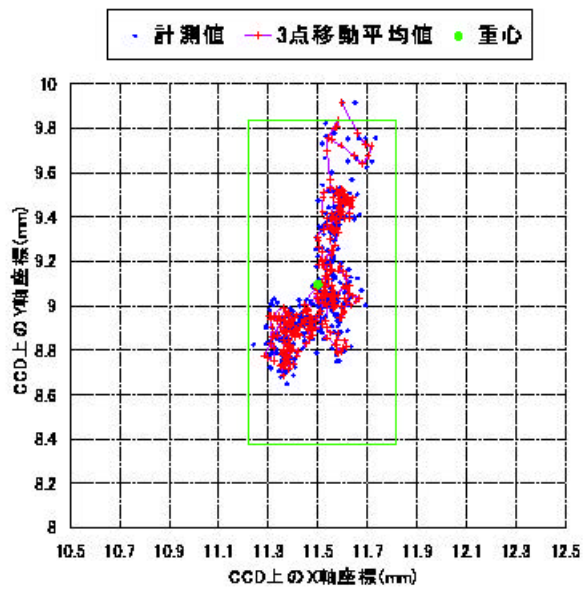


図 L.26: 一点注視時の被験者 H の右眼の視点位置

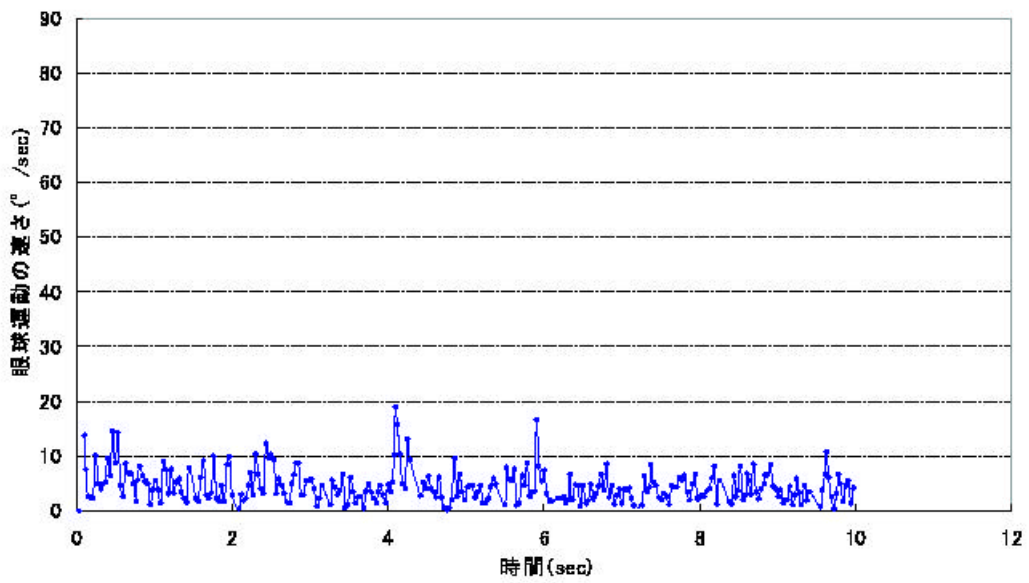


図 L.27: 一点注視時の被験者 H の左眼の眼球運動の速さ

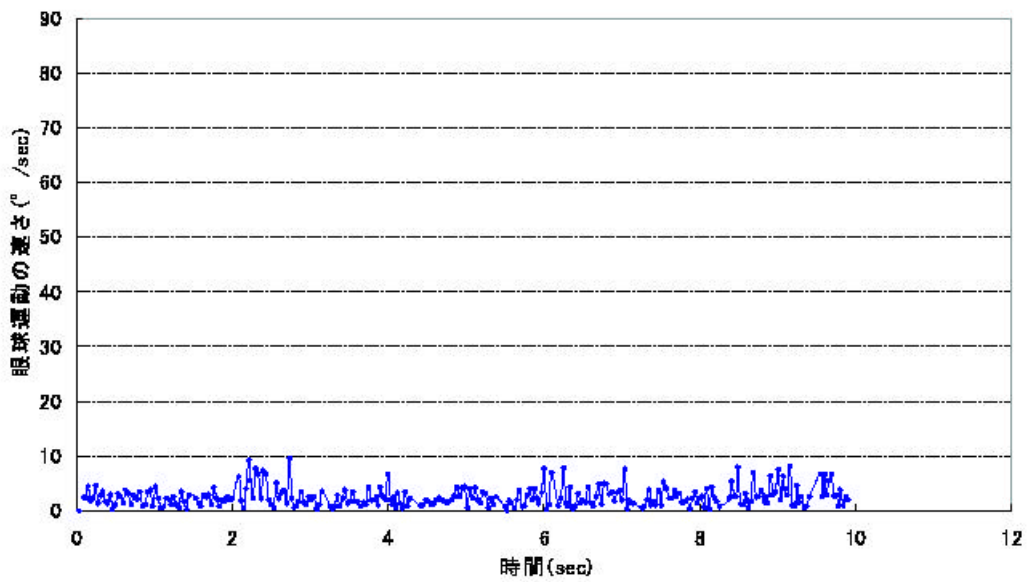


図 L.28: 一点注視時の被験者 H の右眼の眼球運動の速さ

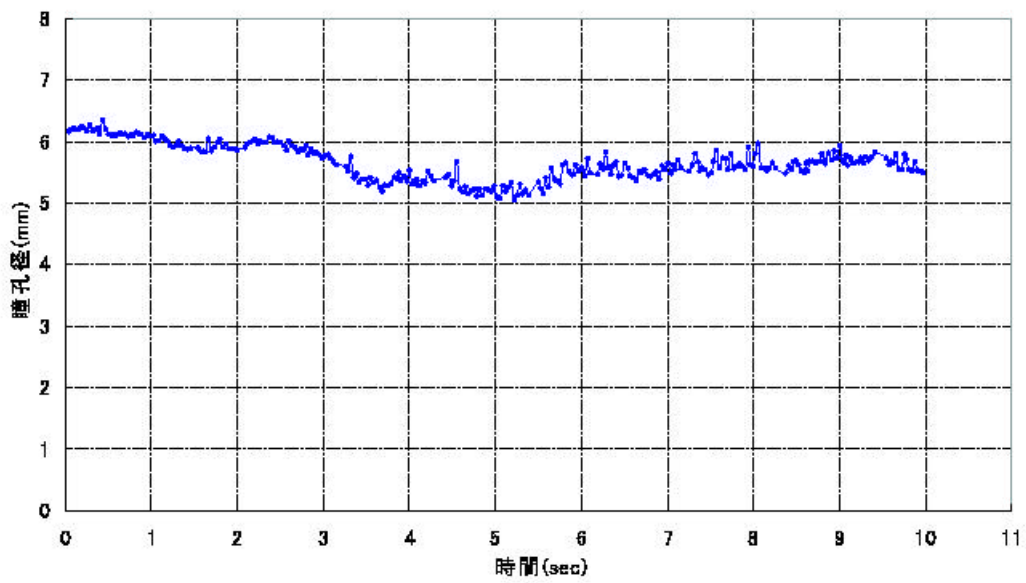


図 L.29: 一点注視時の被験者 H の左眼瞳孔径変化

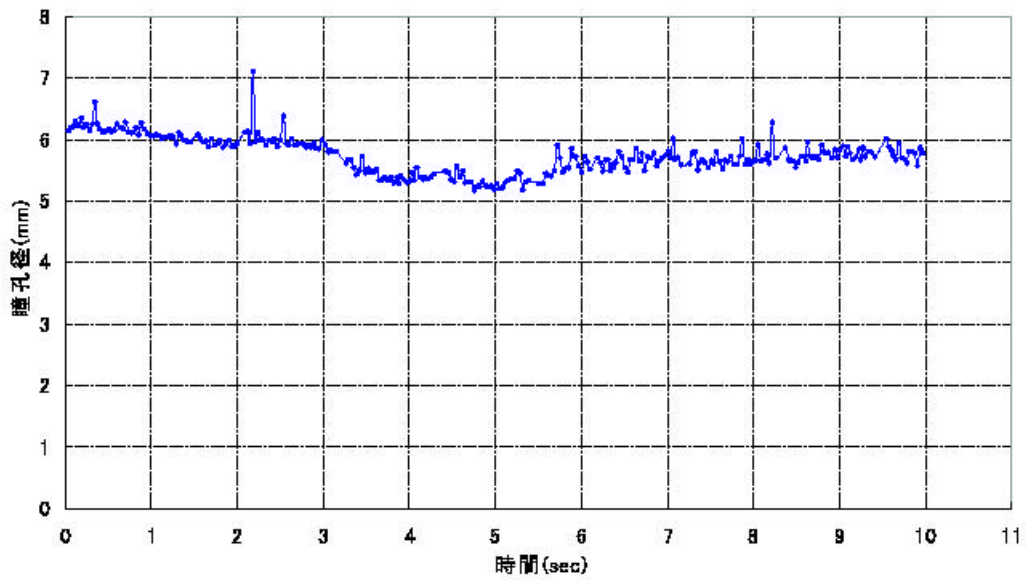


図 L.30: 一点注視時の被験者 H の右眼瞳孔径変化



5. 暗所恐怖症ですか？

Yes      No

6. 暗いところでは緊張しますか？

Yes      No

7. 今、あなたは疲れていますか？

Yes      No

#### 実験中の注意事項

1. なるべく測定を行っている間は目を閉じないようお願いいたします。
2. 十字型のターゲットが表示されますが、交差している部分を見てください。
3. 一つ目の実験では、途中フラッシュ光のような光が目に入りますが気にせず画面の中央にある十字型のターゲットを見つけてください。
4. 二つ目の実験では、十字型のターゲットが画面内を移動します。十字の交差している部分を目で追ってください。
5. 三つ目の実験では、中央で静止した十字型のターゲットが表示されます。十字の交差している部分を見つけてください。

以上です。よろしくお願いいたします。





6. ES-HMD で表示された画面で、十字型のターゲットは鮮明に見えていましたか？
- a. 非常にはっきりと見えた
  - b. はっきり見えた
  - c. 少しぼやけて見えた
  - d. ぼやけて見えた
7. 一つ目の実験（対光反応）の測定中、ずっと目を開けていることができましたか？
- a. ずっと開けていることができた
  - b. 瞬きをしてしまった
  - c. 時々はっきりと目をつぶってしまった
8. 何秒間、目を開けていることができますか？  
(         ) 秒間
9. 二つ目の実験（追従運動）の測定中、十字型のターゲットを目で追うことができましたか？
- a. ずっと目で追うことができた
  - b. 時々目で追うことができなかった
  - c. 全く目で追うことができなかった
10. 三つ目の実験（注視）の測定中、十字型のターゲットを見つづけることができましたか？
- a. ずっと見つづけることができた
  - b. 時々見つづけることができなかった
  - c. 全く見つづけることができなかった
11. 全体的に実験時間は長いと感じましたか？
- a. 非常に短かった
  - b. 短かった
  - c. 長かった
  - d. 非常に長かった

12. 実験に関する意見、感想等ありましたら、書いてください。

以上です。ありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 新潟大学脳研究所：痴呆(大脳皮質の変性疾患),  
[http://brain.bri.niigata-u.ac.jp/home\\_st/resrc/disease/degencortex/dement/dement.html](http://brain.bri.niigata-u.ac.jp/home_st/resrc/disease/degencortex/dement/dement.html)  
(2001年11月10日、現在).
- [2] 西村内科脳神経外科病院 医師 吉本 幸生：  
<http://www5a.biglobe.ne.jp/yuyo/shinryou/shinryou7.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [3] 医療法人和楽会、心療内科・神経科赤坂クリニック：患者と家族のためのガイドブック、早期のアルツハイマー病,  
[http://www.gld.mmtr.or.jp/panic/a\\_17.htm](http://www.gld.mmtr.or.jp/panic/a_17.htm)  
(2001年11月10日、現在).
- [4] 田平 武：アルツハイマー病研究の最新動向について,  
[http://www.aluminum-hc.gr.jp/p\\_6/tahira/tahira\\_main.html](http://www.aluminum-hc.gr.jp/p_6/tahira/tahira_main.html)  
(2001年11月10日、現在).
- [5] 社団法人日本医師会：知って得する病気の知識、アルツハイマー病,  
<http://www.med.or.jp/chishiki/aruthuhaima/005.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [6] 慶友会グループ：アルツハイマー病の診断と予防,  
<http://www.keiyukai-group.com/topics/alzheimer.htm>  
(2001年11月10日、現在).
- [7] 日本老年精神学会：アルツハイマー型痴呆の診断・治療マニュアル, 日本老年精神学会, pp.43-48(2001).
- [8] 千葉大学情報科学講座：精神分裂症,  
<http://cogsci.l.chiba-u.ac.jp/swada/kayama/node2.html>  
(2001年11月10日、現在).

- [9] 精神障害者社会復帰促進センター：精神分裂病患者と家族のための手引き 1999,  
<http://www.mental.ne.jp/kiso/introduction/intro1999.htm>  
(2001年11月10日、現在).
- [10] 三上 昭廣：精神分裂病,NOVA 出版, pp.24-110(2000).
- [11] 高知県立精神保健福祉センター：精神分裂病はどんな病気？,  
<http://www.med.net-kochi.gr.jp/seishin/bunretsu/index.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [12] 上埜 高志、東北大学：Q&A、精神分裂病の診断,  
[http://hotmama.sed.tohoku.ac.jp/entrance/ind\\_06/ans09\\_2.htm](http://hotmama.sed.tohoku.ac.jp/entrance/ind_06/ans09_2.htm)  
(2001年11月10日、現在).
- [13] 宮本 信也、筑波大学心身障害学系：注意欠陥 / 多動性障害の診療,  
<http://www.d3.dion.ne.jp/ujjie/ADHD99.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [14] 宮本 信也、筑波大学心身障害学系：ADHD 児の場合,  
<http://www03.u-page.so-net.ne.jp/tc4/mikano/ADHD.htm>  
(2001年11月10日、現在).
- [15] 言葉と発達の学習室：ADHD,  
<http://www4.justnet.ne.jp/ma2ma3/adhd.html>  
(2001年11月10日、現在).
- [16] SOAA(Society of Adult ADHD)：Adult ADHD とは,  
<http://homepage2.nifty.com/adhd-add/>  
(2001年11月10日、現在).
- [17] 太田 昌孝、東京学芸大学：ADHD について,  
<http://plaza6.mbn.or.jp/jlmr/JLNEWS/jl36.htm>  
(2001年11月10日、現在).
- [18] 市川 宏伸、佐藤 泰三：ADHD 注意欠陥・多動性障害,東京書籍, pp.13-17, pp.20-24, pp.75-82(2000).
- [19] 中根 晃：ADHD 臨床ハンドブック,金剛出版, pp.191-192, (2001).