山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会

報　　告　　書

平成１７年３月
山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会
総務省北陸総合通信局

はじめに

近年、登山愛好者の人口が増加し年齢層の幅も広がってきつつある。これはわが国の長寿・健康志向の流れにも沿うものであり好ましいブームであると考えられる。特に、ここ北陸地方には剱岳を擁する立山連峰や美麗な白山山系があり、多くの登山愛好家や観光客を迎えている。自然観察、山菜取り、スキー、ロッククライミング、厳冬の雪中登山など登山の難度には大きな幅があるが、それぞれの目的を果たし無事に帰還した時には何にも替えがたい達成感が得られるものである。

先日、ＮＨＫテレビのプロジェクトＸという番組で富山県警山岳警備隊の設立と活動が紹介されたが、全国の山を有する自治体では、登山者の命と安全を守るために潜在的な危険にもめげない献身的な事業が展開されている。遭難者を救助する隊員の二次遭難の可能性もあり得るのである。

万が一、遭難事故が発生した場合、登山者の命と安全を確保するにはどのようにすればよいのか。この問題に対してはこれまでさまざまな提案がなされてきた。その中で電波技術を利用したものには、富山県内で１９８８年（昭和６３年）から運用されている通称「ヤマタン」がある。これは、登山者が小型の電波発信機を携帯し、そこから常時ビーコン電波を発信させ、捜索隊はその電波の発信位置を測定するものである。ヤマタンの運用開始以後のこの１５年間、電波通信技術は携帯電話の小型化に見られるように急速に進化しつつある。ヤマタンという先駆的なアイデアを進化させるためには、これらの新技術の導入、送信電力の増加等により、現行ヤマタンの１０倍以上に探知距離を長くすることが可能であると考えられる。そのような装置が実現すれば、ヘリコプターからの鳥瞰的捜索が短時間に可能になり、これはすなわち、山岳の安全ネットが敷設されたことになる。

そのようなヤマタンの高度化は、従来に無かった「探索用ビーコン」という新しいコンセプトの電波応用分野を切り開くことにもなる。そのためには、探索用ビーコンの備えるべき機能・性能、使用する電波の伝搬特性、所要の送信電力等を理論と実証実験によって評価しなければならない。本「山岳遭難者探索用ビーコンシステム高度化に関する調査検討会」は、上記の諸問題を解明し、探索用ビーコンを実現するために、総務省北陸総合通信局の提唱により設置された検討会であり、これまで１年間にわたり調査検討を行なってきた。

本報告書は、これらの成果を取りまとめたものであり、今後は、本報告書に基づき、「探索用ビーコン」が一日も早く実現され現場に配備されることを望むものである。

終わりに、本検討会にご参加いただき熱心に議論していただきました委員各位、地上実験およびヘリコプター実験にご協力をいただきました企業、国・地方自治体の皆様、また、これまで「ヤマタンの高度化」を検討されてきた富山県の関係共同研究者各位に対して、心より感謝申し上げます。

平成１７年２月

山岳遭難者探索用ビーコンシステム高度化に関する調査検討会

座長　岡田敏美

目　　次

第１章　山岳遭難の背景、山岳遭難者救助活動の現状
１－１　山岳登山と山岳遭難の現状と背景……１
１－２　山岳遭難における捜索・救援活動の現状と課題……４
１－３　北陸地域における山岳遭難と救助活動の現状……６
１－４　山岳遭難時の捜索・救援活動における通信手段……６
１－５　連絡通信手段以外の無線の活用……８

第２章　山岳遭難者探索用通信システムの必要性
２－１　山岳登山に携行している各種の無線機器の使われ方の現状と問題点の整理…９
２－２　近年の「山岳遭難者捜索システム」に関する調査研究会報告……１２
２－３　山岳遭難者探索用通信システムの構築に向けた検討……１３

第３章　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの検討
３－１　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの活用の現状と課題……１６
３－２　諸外国の動向……１８
３－３　山岳遭者難探索用ビーコンシステムの検討……１８
３－４　検証試験の必要性……１９

第４章　山岳遭難者探索用ビーコンモデルシステムの検証
４－１　検証試験による実証……２４
４－２　検証試験の概要……２４
４－３　検証試験結果と考察……３３

第５章　実用化に向けての方策と課題
５－１　検証試験の評価と実用化の方策……４５
５－２　実用化に向けての課題……５０
５－３　まとめ……５５

参考資料
資料　１　開催趣旨
資料　２　開催要項
資料　３　委員名簿

付録

Ⅰ　第１章関連の付録……　１
Ⅱ　第３章関連の付録……　３
Ⅲ　第４章関連の付録……　７
Ⅳ　第５章関連の付録……５８

第１章 山岳遭難の背景、山岳遭難者救助活動の現状

本章においては、山岳登山と山岳遭難の現状把握及び山岳遭難者救助活動の現状把握とその際の通信手段としての無線機器の利用について述べることとする。

１－１　山岳登山および山岳遭難の現状と背景

山岳登山は、登山経験を積み重ねながら、より高度な技術の確認と困難性の克服を求める中で、自己を鍛練するという本格的（伝統的）登山をはじめ、近年富みに増加傾向の著しい「健康作り」、「身近な自然との触れ合い」、「余暇の有効活用」などから手軽なアウトドア指向のレジャーとして行われるものまで幅広いものになっている。

さらに、山登りに関する各種の情報が充実し、山岳付近への交通網の整備や宿泊施設等の拡充も進み、誰でもが気楽に参加出来、人里はなれた奥深い地域の自然観察が可能となる等の魅力も相まって、当面はこの傾向が続くものと思われる。

このような状況を「２００４レジャー白書（平成１６年７月（財）社会経済生産性本部編集発行）」から見てみるとピクニック等のアウトドア指向のレジャー人口と登山人口は「表１－１－１」のとおりとなる。

表 1-1-1 平成１０年から余暇活動参加人口推移の表の中から抜粋

参加人口（万人）						
	H10	H11	H12	H13	H14	H15
ピクニック、ハイキング、野外散歩	3,490	3,380	3,450	3,490	3,410	2,750
登山	890	800	930	840	880	650

この統計からは、平成１４年を境に増加傾向から下降傾向に転じたように推察できるが、参加人口数としては依然として高い水準にあることを示している。

そうした中で、登山者等が生命の危険を伴う事態に陥り、救助を必要な状況になる山岳遭難について、過去１０年間の発生状況を「平成１５年中における山岳遭難の概況（平成１６年６月警察庁生活安全局地域課発表）」から見てみると、「表１―１－２」のとおりとなる。

表 1-1-2 過去１０年間の山岳遭難の発生状況

区分	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
発生件数	774	802	896	815	1,077	1,195	1,215	1,220	1,348	1,358
遭難者総数	962	1,022	1,133	961	1,341	1,444	1,494	1,470	1,631	1,666
死者、不明者	206	198	197	251	251	271	241	243	242	230
負傷者	341	390	467	419	439	555	635	615	684	677
無事救出等	415	434	469	345	651	618	618	612	705	759

※「不明者」とは行方不明者を示し、「無事救出等」は自力下山を含む。

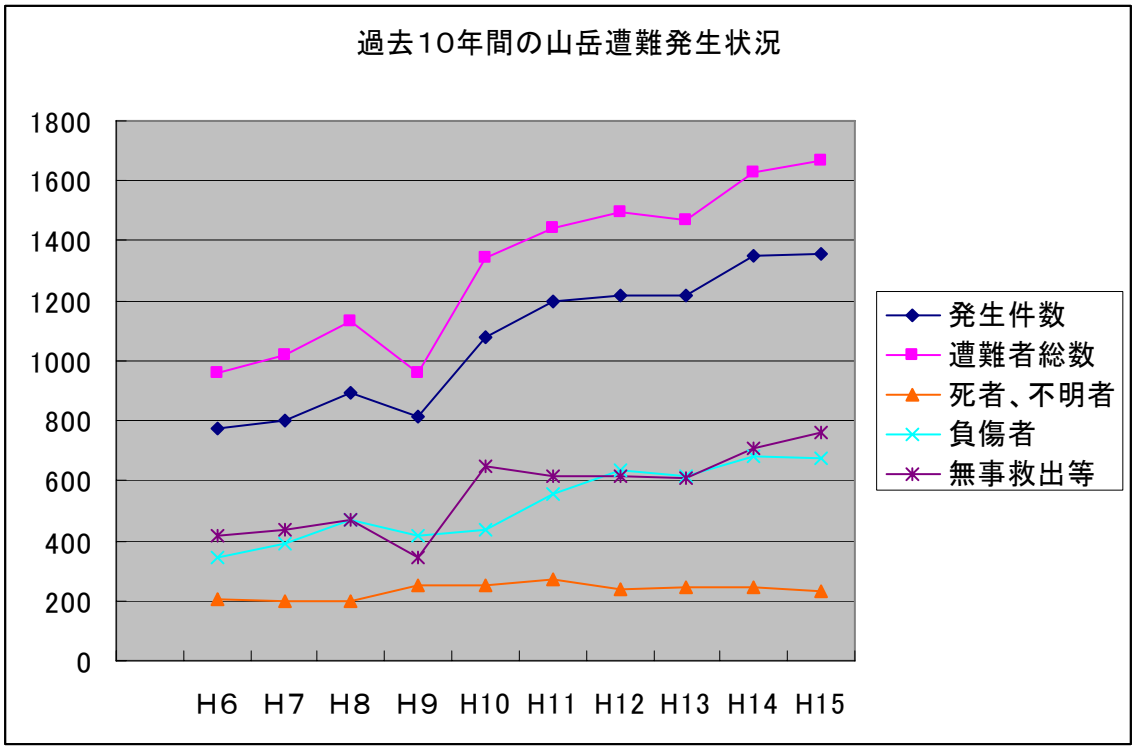


図 1-1-1 過去１０年間の山岳遭難の発生状況

過去１０年間の山岳遭難者の発生状況では、平成１０年以降は１，０００件を超え前年比増１００件を超える年があるなど、遭難者総数もこれに比例して増加し、平成１５年末には１，６６６名にも上っている。

遭難者総数における、死者・不明者は微増であるが、負傷者や自力下山を含む無事救出者が増えている状況が伺える。

遭難者が増えている背景には、中高年者層の余暇時間の増加と活用があり、自然とのふれあい志向の高まり等生活と絡んだ登山が多くなっていることがあげられる。

山岳遭難が増えている状況を確かめるため、「平成１５年中における山岳遭難の概況」（平成１６年６月警察庁生活安全局地域課発表）から、過去１０年間の山岳遭難の中高年登山者の山岳遭難発生状況みると表１―１―３となる。

表 1-1-3 過去１０年間の中高年登山者の山岳遭難発生状況

区分		H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
遭難者総数	総数	962	1,022	1,133	961	1,341	1,444	1,494	1,470	1,631	1,666
	中高年	613	697	808	725	1,023	1,158	1,135	1,127	1,223	1,298
	比率	63.7	68.2	71.3	75.4	76.3	80.2	76.0	76.7	75.0	77.9
死者･不明者	総数	206	198	197	197	251	271	241	243	242	230
	中高年	139	158	157	173	209	235	206	221	219	213
	比率	67.5	79.8	79.7	87.8	83.3	86.7	85.5	90.9	90.5	92.6

統計データは、遭難者総数、死者・不明者数に対する中高年登山者の比率が大変高いことを示している。

中高年の登山者が山岳遭難を起こす背景として、中高年者の登山の増加とその多くは山岳会等の団体に所属しておらず､訓練や教育を受ける機会も少なく､その結果として、体力的な衰えを考慮しない無理な登山計画、登山に対する技術・経験・レーニング・学習不足等の状況があることが指摘されている。

１－２ 山岳遭難における捜索・救援活動の現状と課題

登山者は、関係情報を収集し、それに基づいて登山計画を策定し登山計画書を提出したのち登山となるが、このようなプロセスを踏んだ後に不幸して遭難事故に遭遇した場合に、どのようにして遭難者（又は関係者）と救助機関との関わりが作られて行くかを概念的に図示すると次のようになる。

図 1-2-1 登山から遭難事故、救助要請まで

図 1-2-1 は、遭難が発生した現場またはその近傍から登山者自ら、あるいは仲間等から救助機関への救助要請がされる場合と、これとは次元の違うところでの要請、すなわち家族等が登山の内容を事前に把握していた場合に、下山予定日を過ぎても確認が出来なかったことを契機に救助機関に要請する流れを示している。

一方、山岳遭難者に対する捜索・救援活動は遭難等の事故発生の情報を受けた警察、消防の組織を中核として構成される対策本部がこれに当たることとなるが、このような構成による救助機関は現地本部等を設置し、機動性の高いヘリコプター等（以下単にヘリコプターと記述）からの目視による捜索活動を初動として展開される。

同時に地域の団体等に要請を行い、連携して捜索・救助活動を地上から行い、上空か

らの捜索で地域が特定できていればピンポイントで、これがかなわない事態では面的な捜索・救助活動を展開することなる。

図 1-2-1 で救助要請が発生現場と違う所で行われる事情の存在に触れたが、捜索・救助活動においても家族等がより充実した活動を期待して公的機関への要請のほかに山岳協会等に私的に行う場合があり、これらを概念的に整理・把握するために、次のような図を作成した。

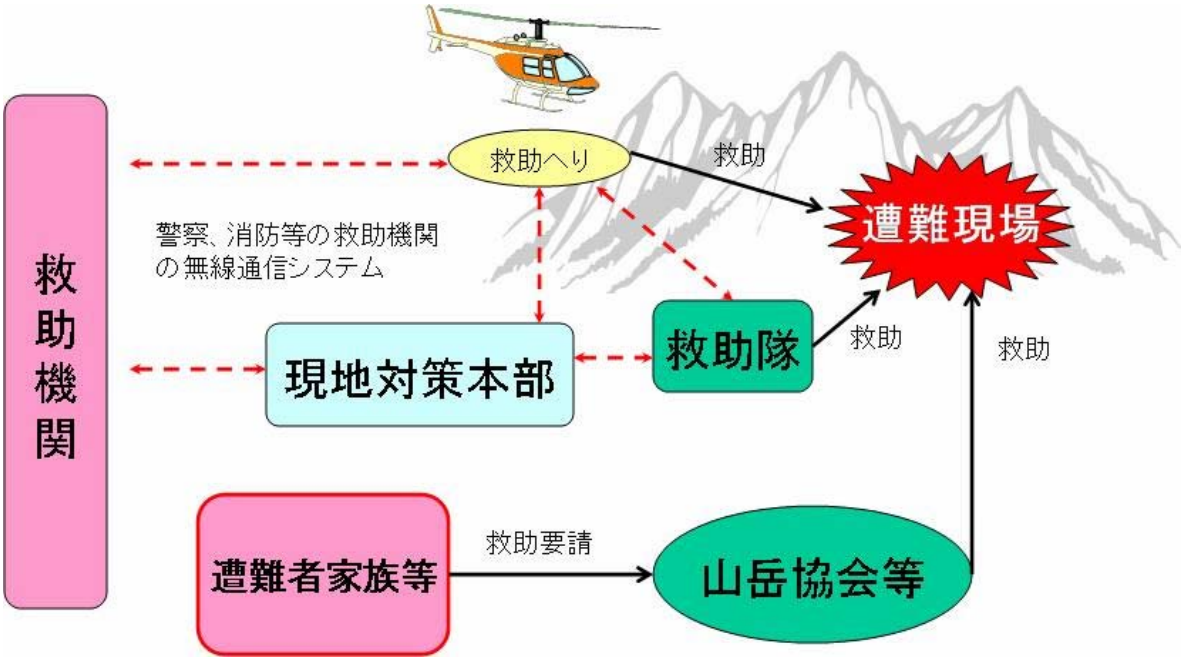


図 1-2-2 山岳遭難者の捜索・救助活動のイメージ

これらの２つの図は、捜索・救助機関が遭難等の情報を得、ヘリコプターや地上の救助隊による遭難現場付近での捜索・救助活動の遂行イメージを示している。

しかしながら、現実の対応においてはヘリコプター等による上空からの目視等による捜索を実施しても、遭難している場所の特定に時間を要し、地上からの活動を含め捜索範囲も広くなることから多くの人手と時間を要し、さらには莫大な費用を要する。

さらには、これらの救助・救援活動においては常に２次遭難の危険性が付きまとい、遭難者の救助・救援活動を迅速・的確に行う必要性との二面性を如何に克服するかが関係者の長年の課題とされてきた。

とりわけ、事態発生から救助までの絶対時間が存命率にかかる重要な要素となる積雪期においては、遭難者の早期の位置特定が大きな課題となっている。

１－３　北陸地域における山岳遭難と救助活動の現状

北陸地域は、北アルプスや名山と呼ばれる立山連峰、白山山系など有数の山々を擁していることから、古くから夏山や冬山レジャーのメッカとして親しまれ、特に近年は登山に対する環境が益々整備されている背景を受けて、手軽なレジャーとして毎年多くの登山者が訪れている一方で、経験や知識の不足等を要因として毎年多くの遭難等の事故が発生している状況にある。

平成１０年以降毎年１００名を超える登山者が遭難等の事故に遭遇しており、中高年者登山の比率増加に合わせ、事故そのものも増加の傾向が確認されている。

表　1-3-1　過去６年間の北陸地域における遭難者数

		H10	H11	H12	H13	H14	H15
遭難者総数	富山県	86	110	113	128	135	111
	石川県	7	12	14	13	10	5
	福井県	8	4	3	1	1	4
	合　計	101	126	130	142	146	120

近年では平成１３年１月黒部渓谷内蔵助谷で雪崩が発生し、３人が巻き込まれ２名が遺体で発見され１名は行方不明となった事件や、立山町弥名川右岸の出し谷で表層雪崩が発生し、狩猟仲間５人のうち、３人が巻き込まれうち２人は脱出したが１名が行方不明になった事件などが記憶に新しい。

このような状況を憂慮する富山県では、昭和４１年から１２月１日を始期に翌年５月１５日までの間に剱岳へ登山する場合には「富山県登山届出条例」により、登山する２０日前までに富山県自然保護課に所定の様式で登山届を、剱岳以外への登山者には万一に備え登山する山岳を管轄する警察署又は登山口の交番等へ登山計画書を提出することを義務付け、下山した場合には富山県警察山岳警備隊へ連絡すること、万一遭難した場合の早期救助のため各自の所属する山岳会・学校・会社並びに家族等にも計画を知らせる等の対応を指導している。

１－４　　山岳遭難時の捜索・救助活動における通信手段

前述の「１－２　山岳遭難における捜索・救援活動の現状と課題」において記述する、遭難等の事故が発生した現場またはその近傍から登山者自ら、あるいは仲間等から救助機関への救助要請は、既存の通信手段を用いて行われることを想定している。

登山の対象として選択した山岳が、いつでもどこからでも容易に通信手段を確保出来

る環境にある場合は希であり、特に冬山では山頂などのほとんどの山小屋は閉鎖されている状況にあることから厳しい環境にある。

一方、登山者においては、このようなことも想定してか、緊急や遭難等の事態発生時の情報を迅速に伝達するに有効な手段と意識して、携帯電話やアマチュア無線等の無線機器を携行している場合が多い。

遭難発生時における無線機器の使用に関しては、「山岳登山者の遭難通信手段の使用状況」（平成１６年６月警察庁生活安全局地域課発表）において次にように報告されている。

表 1-4-1 平成１５年度における通信手段の使用状況（件）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
遭難総数	53	27	49	81	198	164	148	214	145	170	77	32	1358
使用数	28	10	23	26	73	46	62	84	55	62	34	15	514
携帯電話	25	9	23	26	73	46	62	84	55	62	34	15	514
ｱﾏﾁｭｱ無線等	3	1	0	0	0	2	3	2	2	1	0	0	14
使用率（%）	52.8	37.0	46.9	32.1	36.9	29.3	43.9	40.2	39.3	37.1	44.2	46.9	38.9

・ 携帯電話、無線、遭難総数欄の単位は件数。

・ 携帯電話又は無線の使用者は本人以外の場合も含む。

このデータによると、全遭難件数における３８．９%の事案の救助要請が無線機器（携帯電話、アマチュア無線等）により、行なわれている。

近年の北陸地域での山岳遭難事故において、捜索・救援活動に関する無線機器の使用実例では、平成１６年２月に関西学院大ワンダーフォーゲル部員１４人が石川、福井県境の大長山から「下山できなくなった」とアマチュア無線で救助を求めたのを福井市や大野市のアマチュア無線家が傍受し警察に通報した例や、平成１７年１月に北アルプス・奥大日岳の頂上付近の稜線から、富山医科薬科大生のパーティのリーダーが谷へ滑落し行方不明となった際、仲間がアマチュア無線で富山県警に救助を要請した例が挙げられるが、これらは通報が受信された環境がきわめて良好に備わったことでその使命を果たしている。

しかしながら、次章で詳述することとするが、これらの無線設備による通信手段は随時必ず受信環境が整っている保証が無いことに留意しておかなければならない。

なお、「図１－２－２」により遭難現場付近での捜索・救助活動の遂行イメージを概念的に示す中で、捜索・救助活動を遂行する当事者の通信手段としては、警察機関が組織する山岳警備隊、消防機関が組織する救助隊及び山岳遭難対策協議会等でそれぞれ携帯系と移動系の無線通信手段を備え、当該活動におけるそれぞれの局面において、使い分けを行うなど、円滑な活動に資することを期して、それぞれの組織において確立されて

いる。

これらの通信系については本検討会の検討趣旨にそぐわないため、ここではその充実の環境を簡単に紹介するのみに留めることとする。

１－５　連絡通信手段以外の無線の活用

無線の活用については、前項の登山者等が遭難時等に救助要請を行う通信手段の用の他に、電波の性質を利用してその発射源を探索することで、遭難者の位置を特定する機能として活用されるものがある。

例としては、富山県警が昭和６３から開発運用したペンダント型の電波発信器、通称「ヤマタン」や雪崩ビーコンと呼ばれている市販の電波ビーコン端末等の無線機器がある。

ヤマタンは富山県の剱岳を中心とした特に冬山登山者に携行を促し、少なからぬ成果を収めているところであり、日本山岳協会、日本山岳ガイド協会では、パーティで冬山登山する場合には、全員が雪崩ビーコンを携行して、パーティのメンバーが遭難した時に残りのメンバーが本端末を使い電波の発射源を探すことで救助できる可能性を期待して組織的に導入することや捜索熟練講習会等を開催するなどして救助にかかる体制の向上を図っている。

さらに、諸外国においては、最近、パッシブ方式の無線タグを登山ウェアに販売時から装着する等の動きが確認できたところであり、宇宙航空研究開発機構においても技術試験衛星Ⅷ（ＥＴＳ－Ⅷ）を活用した超小型携帯通信端末の実験を計画しており、ピンポイントで捜索対象者の位置を特定するシステムを開発する準備が進められるなど、遭難者が度重なる状況の悪化で自ら行動を起こすことが出来ないような状況になっても、救助の手が差し伸べられるシステムの構築へ向けて関心が高まっていることに注視をしておく必要がある。

第２章 山岳遭難者探索用通信システムの必要性

本章では第１章において明らかにした山岳遭難者救助活動において活用される無線システムについての現状を把握し、課題の抽出を行うとともに、必要性についての検証を行い、必要とするシステムのより望ましい捜索・救助活動における無線技術の活用について記述する。

２－１　山岳登山に携行される無線機器の活用状況と課題の整理

前章の「１－４　山岳遭難時の捜索・救助活動における通信手段」及び「１－５　連絡通信手段以外の無線の活用」において述べたところであるが、いざというときの早期の捜索・救助活動を期待して、携帯電話、アマチュア無線、ビーコン等様々なシステムの活用がされている。

これらの無線機器の活用状況についての現状と課題等を以下に整理した。

（1）携帯電話

携帯電話は、今や一番身近な情報連絡手段として、平成１６年９月末現在全国の加入者数で約８４００万、北陸で約１９０万と幼年層等を除くとかなりの比率で普及しており、山岳登山者は遭難等の事態発生時の情報伝達に有効な手段として意識する以前に、当然のように所持したまま入山することが想定される。

最近の山岳観光等のブームの背景により、少しずつではあるが、登山道でもサービスエリアとなりつつあるが、公称のサービスエリア内であっても実際の複雑な山岳地形の中では圏外となる場所が多いと推測される。

さらに、遭難等に遭遇した場合、幸運にも携帯電話のサービスエリア内にあったとしても、似たような地形が多い山岳では、自分の位置を正確に把握して相手に伝えることができるかどうかは課題であると思われる。

よって、山岳遭難等における捜索・救助活動用の無線機器として特に優れた連絡通信手段とはなり得ないと考えられる。

（2）アマチュア無線

アマチュア無線は、最近の北陸地域における山岳遭難事故の通報手段となった例にあるように、比較的送信電力が大きいことから広範囲に存在する多くのアマチュア局と通信が可能な場合もあり、容易かつ安価に購入できることから、一部の登山家の間では仲間同士の連絡用も兼ねて携行されている。

携帯性の良い１４４又は４３０ＭＨｚ帯のハンディー機の場合、見通しの良い山頂付近から相当離れた平野部との通信も可能になるが、アマチュア無線の通信

する相手はアマチュア局に限られていることから、緊急等のため通信を行おうとしても相手方が確実に聴取している可能性はあまり高くないと想定され、適時に正確に情報を伝達できる保証がない。

そのほか、アマチュア局は元々無線通信の趣味の実現のためのものであることから、無線従事者資格の取得や無線局免許手続き等を必要とし、中高年層の登山者においては、無線機器の操作方法にとまどう等の問題もある他、携帯電話による課題と同様、似たような地形で自分の位置を正確に把握できるかどうかの課題もあると思われる。

山岳遭難等における捜索・救助活動用の無線機器として特に優れた連絡通信手段とはなり得ないと考えられる。

（3）微弱電波を利用した電波ビーコン端末

電波利用の各種負担を負うことなく、電波の性質を利用して自分の位置を知らせ探索救助活動の支援に資する無線機器として、「雪崩ビーコン」や「ヤマタン」等が実用に供されている。

ここでは代表機器となる2システムについての活用状況等についてまとめる。

①　雪崩ビーコン

冬季の山岳登山者は、日本山岳協会等の推奨もあってベルトに固定して使用する通称「雪崩ビーコン」と言われる電波ビーコン端末(煙草箱サイズ：アルペンビーコン１５００、トラッカーＤＴＳ等の名称で各種市販されている)を携行している場合がある。

このビーコンは４５７ｋＨｚの周波数の電波を使用し、送信と受信の切替えが可能となっていて、通常は遭難時の位置表示のためのビーコン発信機になるほか、雪崩に巻き込まれた雪下の遭難者等を探索する場合には受信機として使用することが出来るものである。

雪崩発生は希であるが、ひとたび起きると救助隊の現地到着に時間を要すことから、難を逃れたパーティの他のメンバーは、携行しているビーコン端末を受信モードに切替え、信号の強い方向に向かって捜索して雪を掘り進むこともでき遭難者を救助することが可能な機能を有する。

救助者側の２次遭難の危険もあるが、即時性は高くパーティの各自がビーコン端末を持つことの意義は大きい。

しかし、電波が微弱であるため捜索範囲が狭く、かつ、ビーコンに使用している周波数における電波の性質などの理解がないと容易に発信源を探索することが出来ないことが問題とされている。

② ヤマタン

雪崩や滑落などによる山岳遭難者を迅速に発見することを目的とした「山岳遭難者探索ビーコンシステム」通称「ヤマタン」は、富山県内で１９８８年（昭和６３年）から開発運用されていて、現在、富山県山岳対策協議会、警察本部(山岳警備隊)、上市警察署馬場島警備派出所等にヤマタンを配置し無料で貸し出されている。

冬季の山岳登山者にペンダント型の電波発信機（大きさは５００円玉程度の大きさで軽量）の携行を促し、遭難時にはこの発信機から出る電波を、ヘリコプターを使って上空から探索することで、およその遭難エリア（遭難者がいる谷など）を発見（特定）することができる。

しかしながら、電波が微弱であることや使用した電波の波長などから、遠方からの電波の到来方向を探知するのには難があり、電波の受信状態を頼りとする捜索になっているため、正確な方位を特定するには熟練を要するなど問題が指摘されていた。

これらの課題とされる点も含め概念を把握するため整理すると次図のようになる。

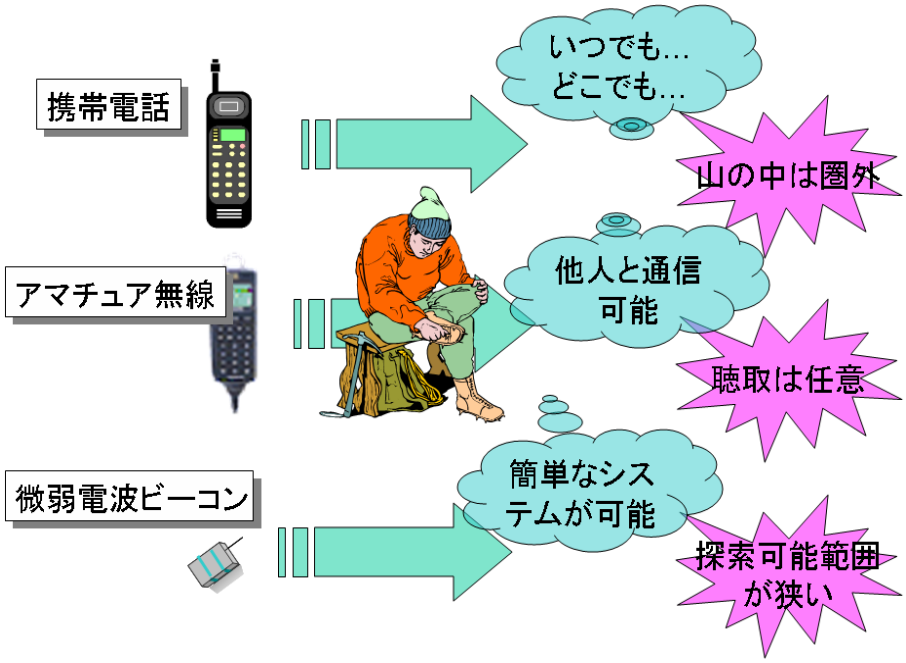


図 2-1-1 山岳遭難者探索用通信システムの現状と課題

２―２　近年の「山岳遭難者捜索システムに関する調査研究会」等の報告

本検討会で検討の主題とした山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関して、その検討の要素、課題、改善への方向性等を本検討会の検討成果のみならず多方面から得るため、近年総務省の関連機関において開催された「山岳遭難者捜索システムに関する調査研究会」等の報告にそれを求めることとして、以下に紹介する。

（1）「無線通信による次世代遭難救助システムに関する調査研究会」

平成１２～１３年度に北陸総合通信局が開催した「無線通信による次世代遭難救助システムに関する調査研究会」では、登山者が簡便に持ち運びできる無線端末を用いて、救助連絡やＧＰＳにより測定した位置情報を救助機関へ送信することが可能なシステムが求められているとして、山岳地域での通話エリアを確保するため山岳レピータ中継局を介する山岳遭難者救助用の情報通信システムの構築を提言している。

システムの構築・普及を図るには低廉価が必要不可欠として、既存技術を応用し汎用の無線端末を用いた登山者同士の情報交換、キャンプや渓流釣り等のレジャー用、更には平地においては小電力モードでの一般連絡用として利用可能な形態を考慮に入れる必要があるとしている。

（2）「中高年登山者のための電波利用に関する調査研究」

平成１４年に信越総合通信局で開催された「中高年登山者のための電波利用に関する調査研究」では、登山者への安全支援を図るための登山者の意向等のアンケート調査を行なっており、結果

① 登山中に体調が悪くなった経験がある
② 登山前に体調管理を行なっていない
③ 登山中に健康チエックをしたい
④ 登山中に体調を確認する装置は有効

などの回答が多かったことから、安全登山支援のために求められる機能として、登山メンバーの距離がある程度離れていてもガイド等がメンバーの体調・位置の把握等が可能となる情報通信システムの構築を提言している。

（3）「携帯電話による遭難者探索システムに関する調査研究会」

平成１１年度北海道総合通信局で開催された研究会では、既存の携帯電話端末を使って､「携帯電話の通話エリア外でも遭難者と捜索関係機関の最低限の連絡を取ることができないか」として、机上ではあるが、擬似的なネットワーク機能を持った通信システムの開発について「その可能性」が検討された。

その検討の中では、携帯電話で直接アクセス、既存のネットワークに混信を与えない、方向探知ができないか、電波法令への対応をいかにしたら良いか等の意見が出されており、「技術面」「制度面」「運用面」からも解決すべき課題が多いが実現性の可能性はあるとの結論が出ている。

これらの調査検討の結果から、山岳遭難者捜索システムに関する検討の要素、課題、改善への方向性等を導き出すと

ア　捜索救助機関と最低限の連絡の確保

イ　登山者が簡便に持ち運び可能なシステム

ウ　救助機関に位置情報等の送信の必要性

エ　システム使用者を無線方位測定で特定の必要性

などがあげられる。

２－３　山岳遭難者探索用通信システムの構築に向けた検討

「２―２　近年の山岳遭難者捜索システムに関する調査研究会等の報告」において導き出された共通の要求、課題等は山岳遭難者探索用通信システムの構築に向けた検討に反映される必要があるが、その検討の要点となる背景・要素の概要を以下に整理した。

（１）　捜索救助機関と最低限の連絡の確保

遭難者等からの救助要請はもとより、ヘリコプターで行われる捜索活動においても、天候が急変するなどの不安定な山岳においては、上空の捜索者に手を振るなどして自分の位置を伝える程度であり、山岳遭難者と無線通信により捜索救助機関と最低限の連絡手段が確保出来なければ捜索活動の効率が低下すると指摘されている。

（２）　登山者が簡便に持ち運び可能なシステム

登山者が装備品の１つとして違和無く携行するには、容積と重量が大きな要素となるが、その指標は第３世代の携帯電話程度であるならば、いざという時の装備品として容認されるものと思慮される。

そのほか、電波法による無線局免許の取得など関連環境の整備を必要としない簡便に利用できるシステムが望まれている。

（３）　救助機関に位置情報等の送信の必要性

山岳遭難者側も捜索・救助する側も遭難者の位置特定は欠かせないものであり、遭難者からの救助要請が救助機関へ伝達出来ても、遭難者、関係者等は、似たような地形の多い山岳で正確な位置情報を伝えることは相当の困難性を伴う。

登山者が遭難するということは、自身の現在位置が不明の場合がほとんどである

ことから、簡単な操作で（あるいは操作しなくても）自身が遭難したことや位置等の情報を正確に伝達できる必要がある。

（4）　システム使用者を無線方位測定で特定の必要性

上記（３）に述べた遭難者の位置情報の伝達までは出来なくても、無線機器を使用している者の位置を電波の特性を利用して到来方向を探知し、その延長線上に捜索対象があることを捜索・救助活動に応用しようとするもので、特性を利用することは、連絡手段の無線機器に対しても可能であり、もっともシンプルにしたものが電波ビーコンシステムである。

これらのことから、より望ましい唯一の山岳遭難者探索用通信システムの構築を検討すると、携帯電話ほどの大きさと重量でトランシバー機能を持ち、ＧＰＳシステムから自身の位置の特定と伝達ができる等のシステムと言うことになり、理想ではあるが現実の技術レベルからは実現性の低いシステムと考えられる。

一方、本検討会では山岳登山に携行している各種の無線機器の活用おける課題を抽出しているが、これらの要点を以下に整理した。

（1）携帯電話等広く普及した通信システムは容易に携行が可能だが、遭難の通報等伝達する場合、受信側が常に確保されている保証がないため、確実性がない。

（2）山岳地の地勢から受信側へ電波の伝播をさえぎることも想定され、捜索・救助への起動に結びつかない又は滞る恐れのある通信システムは、探索用システムとしては適切でない。

（3）遭難した場合に、登山者自らが通報を発信する状況に無い場合もあり、意思の有無に関わらず電波が発射されるシステムでなければならない。

（4）遭難時に遭難者自らが冷静に捜索・救助に有効な位置情報を伝えることは極めて困難と思われることから、遭難者頼りとするシステムは適さない。

（5）登山と言う目的のためだけに、新たに資格を得るシステムは簡便に登山者の安全を確保する観点から優れたシステムとして位置付けることが出来ない。

（6）緊急の通報が行われた場合又は予定時の下山がない場合等に、捜索・救助機関の初動体制が早期に確実に整えられるシステムでなければならない。

（7）平均的登山日数（山岳警備隊への届）、季節的なこともあるが、冬山は一週間が限度と思われることから、７日を上回る連続使用が出来るシステムでなければならない。

以上の課題からは、簡便に利用できることが前提で、より探索活動を容易ならしめるため、遭難時にも確実に電波の発射が担保され、７日以上の期間にわたって探索側がより確実に電波の捕捉を可能とするシステムの構築が求められている。

このほか、遭難したことや位置等の情報を遭難者の操作を経ずに正確に伝達でき、捜索・救助側においても簡単に遭難者の正確な位置等の情報を入手できることも期待されているおり、そのことにより、探索活動の負担を軽減し、二次遭難の防止に直接貢献できることから、強い要望となっている。

本検討会での要求と前述の「山岳遭難者探索用通信システム」の理想的な要求の中の共通性を探り、一方で実現可能性からの要求機能の選択を行い、遭難発生後の捜索・救助活動においての有効活用と言う要求に絞れば、本検討会の検討の主題とした山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関しての検討を行うことにより、近年の山岳遭難者捜索システムに関する調査研究会等の提言を含め、大方の要求を実現性の高い方法でシステム構築に向けて提言可能であることが確認できた。

第３章 山岳遭難者探索用ビーコンシステムの検討

本章においては、前章の山岳登山に活用されている無線システムのうち、遭難発生後の捜索・救助活動により有効活用されるシステムとして構築するにあたって、既にこの機能を有するシステム等の活用の現状と課題の整理を行い、より有効に活用するための方策等について述べる。

３－１　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの活用の現状と課題

「第１章１－５　連絡通信手段以外の無線の活用無線」においてその概要を述べたが、遭難発生時等に登山者を救助するために、電波の性質を利用してその発射源を探索することで、遭難者の位置を特定する機能として活用されるものがある。

例としては、富山県警が開発運用した「ヤマタン」や「雪崩ビーコン」と呼ばれている電波ビーコン端末等の無線機器がある。

ヤマタンは富山県の冬山登山者に携行を促し、雪崩ビーコンは日本山岳協会等が携行を促して、少なからぬ成果を収めているところであるが、それぞれを運用している関係者からは機能の高度化等の要望が出されている。

こうした中、富山県工業技術センター・富山県立大学等の関係機関は、富山県警からヤマタンの機能向上について依頼を受けたのを機に、平成１３年４月と平成１４年２月の２回、既存の雪崩ビーコン、ヤマタンに加え、４３０ＭＨｚ帯試作ビーコン、ＡＴＲ注提供のマイクロ波ビーコンの４機種について探索性能の比較試験を雪中埋設の状況で行なっている。

探索比較試験の結果は表３－１－１のとおり報告されている。

同工業技術センターはこの試験に４３０ＭＨｚ帯１mWのビーコンを試作して臨んだが、八木アンテナを利用することで１５０ｍ以上の距離から容易に探索できたものの、発信源との距離に応じて周期的な電波の強弱が認められている。これは、山の斜面からの反射波の干渉等の不確定な要因が疑えることから今後高性能な発信器や電波方向探知装置を利用した野外試験が欠かせないとの報告もされている。

また、ＡＴＲ注提供のマイクロ波ビーコンは２．４ＧＨｚ帯の周波数を採用し、新規開発のエスパアンテナ（電子制御アンテナ）を使用して探索試験を行なったが、地上では最長６００ｍの探索距離があったものの、雪中１．５ｍの深さに埋めた状態では、雪による影響を受け探索可能距離が約３０ｍであった。

この周波数帯の雪による減衰が多いことが証明された結果と思われる。

表 3-1-1 雪上での探索試験結果

システム名	雪崩ビーコン AB1500 他	ヤマタン (富山県警)	工業技術センター 試作ビーコン	ATR試作ビーコン
使用周波数	457 kHz	50 MHz 帯	430 MHz 帯	2.4 GHz 帯
発信出力	54 dBuV/m 以下	54 dBuV/m 以下	1 mW	100 mW
変調	なし	SSB	FSK	DS-SS
埋設深	1.5 m	1.5 m	1.5 m	1.5 m
探索可能距離	50 ～ 90 m	130 m 以上	130 m 以上	30 m
特徴	使用に熟練を要す	広い範囲の特定に有効	八木アンテナ方式	使用が簡単、探索容易、高性能

注　:(株)国際電気通信基礎技術研究所

前述した４機種の比較実験についての詳しい評価等はできないが、これらの機器等が抱える課題等の概要を以下に整理する。

（1）雪崩ビーコン

ビーコン発信機能の他、受信モードに切替えて捜索して遭難者を救助することが可能な機能を有することの意義は大きいが、電波が微弱であるため捜索可能範囲が狭く、かつ、ビーコンに使用している周波数における電波の性質などの理解がないと容易に発信源を探索することが出来ない。

（2）ヤマタン

発信機に使われている周波数が低いため、携帯の小型のアンテナでは指向特性が悪く、発射電波が微弱なこと及び短い持続時間の間欠発信（１１ｍｓｅｃの周期）の送出方法としたことから、到来方向を特定するのに難があり、捜索の時間を費やす。

（3）工業技術センター試作ビーコン

周波数を４３０ＭＨｚ帯にしたことで、受信アンテナに比較的小型で指向性の良いものを使用できるため、探査性能や探査距離についてはほぼ満足出来るものと思われるが、受信側に電波方位測定装置を利用するなどの改善が必要とされている。

（4）ATR 試作ビーコン

２．４ＧＨｚ帯の周波数を採用しているため、探索側に使用するアンテナには小型で極めて鋭い指向性のものが使用できることから、探査精度は高いと思われるが、雪による探索可能距離の減少が大きいことが懸念される。

３－２　諸外国の動向

本検討会においては、山岳レジャーが盛んな国々において、パッシブ方式の無線タグを登山ウェアに販売時に装着する等、多くの団体等と連携でシステム的な普及拡大を図る動きがあることも、確認できたところであるが、捜索・救助活動における対象者を考慮する必要が有るものと思われる。

我が国のように整備された狭いエリアをスキーヤーが滑走するのではなく、雄大なエリアを滑走する諸外国のスキーヤー等の安全を確保するシステムはその利用環境が異なると判断せざるを得ず、我が国の山岳遭難における捜索救助活動に適したものとは言い難く、その普及を促進することには疑問が残る。

３－３　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの検討

前章により実現に向けた検討と実用化への提言が可能であるとした、山岳遭難者探索用ビーコンシステムを「３－１　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの活用の現状と課題」および「３－２　世界的動向」等において明らかにした要素を考慮し、より有効なシステムとして構築するためには、全く新しい概念から構築する方法と既存のものから発展させる方法とがある。

本検討会においては、後者を選択し早期により有効なシステムとして構築する必要があるとの結論に達し、「３－１」において例示されたビーコンシステムの内から中核とすべき機能・性能を抽出し、モデルシステムとして構築することとした。

モデルシステムに装備されるべき機能等については以下のように整理できる。

（１）　探索可能範囲を現状のシステムより拡大する。
（２）　探査精度の向上（ピンポイントの位置の測定を可能にして複数の遭難者の特定ができる）
（３）　探索可能範囲、探査精度を維持して長期間の発射が可能とする。
（４）　普及をはかるため廉価に製作できることと利用にあたっての制約がないこと。
（５）　登山者にとって負担とならない容積と重量であること。
（６）　操作性の良いこと。等

これらの要求等を本検討会での意見などから具体的な要求性能をもとめ、その解決の方策等を要約・整理すると、次表のようになる。

表 3-1-1 求められる性能・機能

目　標　値	検　討　事　項
① 探索可能範囲 　数百メートルの探知を可能にする ② 探索精度の向上 　ピンポイントの位置測定を可能にする 　遭難者が特定できる ③ 発信機の連続使用時間 　一週間以上の連続使用 ④ 普及のし易さ ⑤ 登山者の過重負担の軽減 　携帯電話以下の大きさ	① 必要な空中線電力の確保 ② 最適周波数の選定 ③ 位置情報、識別情報の付加 ④ 探索時間の短縮と確実性の向上 ⑤ 長時間発信のための送信方法の確立 ⑥ 導入促進に向けた制度の創設 ⑦ 実用化に向けて 　使用条件等の配慮 　小型軽量化

なお、雪崩ビーコンが有している受信機能は、その有効性は認められるとしながらも、モデルシステムの構築においては機器の複雑化、容積の増加、消費電力の増加、携帯性の問題等々から想定しないこととした。

３－４　検証試験の必要性

本検討会では「３－３　山岳遭難者探索用ビーコンシステムの検討」により明らかになったモデルシステムの機能・性能の目標値や検討項目ついて、実証試験を通じて実運用環境の中での技術的条件等の検証、評価、課題と方策を明らかにするため、次のような試験装置を製作して実施することとした。

検証試験では期間や費用の観点から確認が不可欠な機能・性能について焦点を絞り、これらのデータの収集に適した試験装置を製作して行うこととした。

（１）試験装置の構成等

①　試験装置の概要

本装置は、ＧＰＳ受信機と無線モデムからなるビーコン発信機と、無線モデムとＰＤＡ(Personal Digital Assistance:携帯情報端末)からなる携帯型受信機、および携帯用方向探知器とＧＰＳ受信機から構成される。

ビーコン発信機は、無線モデムからのＧＰＳ受信機からのＧＰＳデータとＩＤ番号を重畳して電波を送出する。

携帯型受信機は、無線モデムでビーコン発信機からのＧＰＳデータとＩＤ番号を受信し、ＰＤＡでビーコン発信機までの距離・方位を演算し、そのデータを表示・保存する。同時に携帯用方向探知器で、方位と受信レベルを測定する。

② 構成

ア システム構成

システムの構成を以下に示す。

表 3-3-1 システム構成表

項	名 称	型 名	数量	備 考
1	ビーコン発信機		4	
2	携帯型受信機		1	
3	GPS 受信機	FG-530	1	自己位置測定用
4	携帯用方向探知器	TD-L8640P	1	方位測定用
5	充電器		5	ビーコン発信機・携帯型受信機充電用

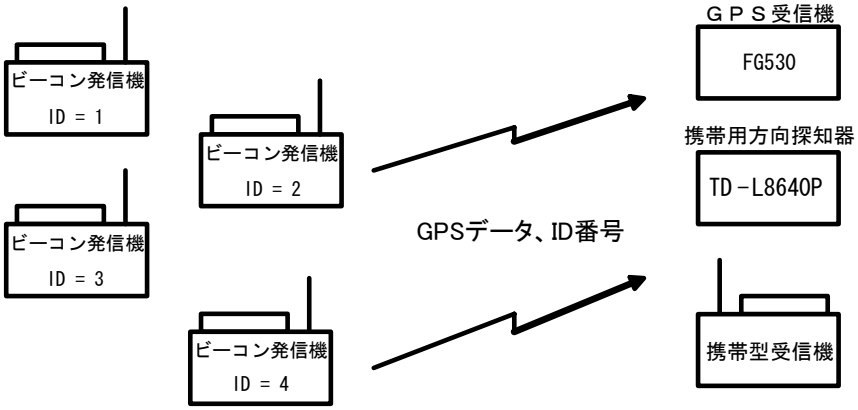


図 3-3-1 システム系統図

写真 3-3-1 ビーコン発信機・携帯型受信機

イ　各機器の構成

ビーコン発信機及び携帯型受信機のブロック図を以下に示す。

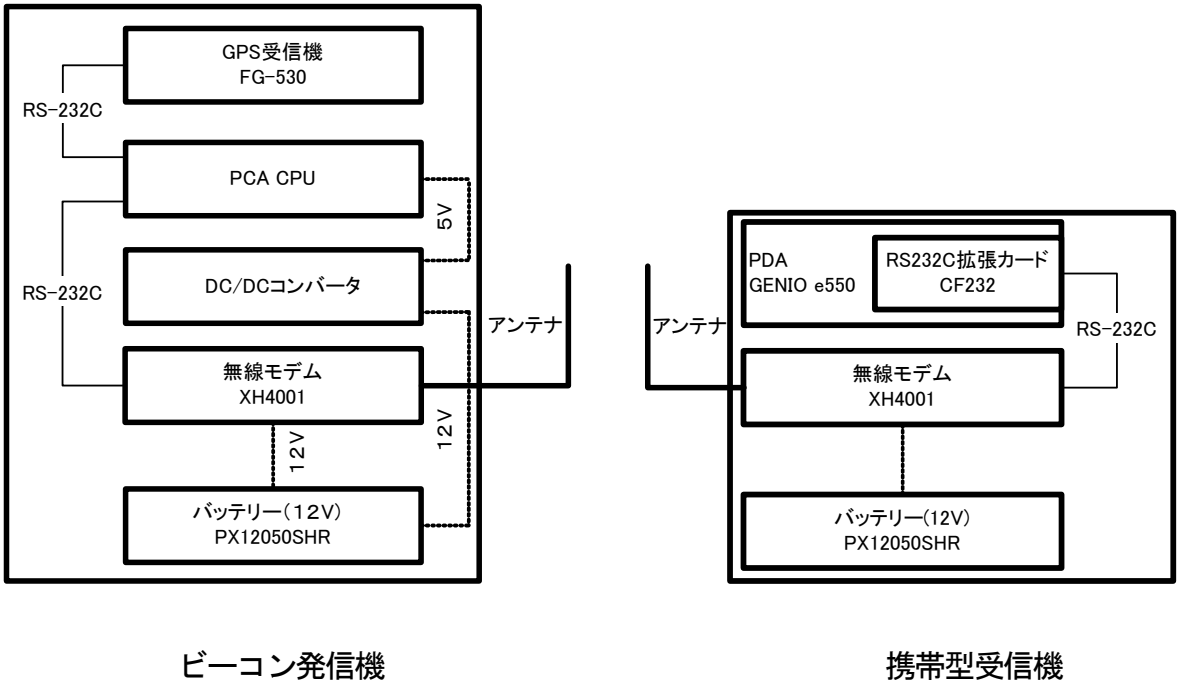


図 3-3-2 各機器ブロック図

※　ビーコン発信機の機能・性能については付録のとおり。

（２）試験装置電気的仕様

方向探知性能の向上と位置情報等の付加情報の確実な伝送を行なうため、試験装置（発信機）の空中線電力、周波数、変調方式について次のとおり検討を行った。

①　空中線電力について

方向探知性能の向上のためにはより大きな電力の選択が有効だが、限られた電源（電池）で長時間ビーコンを動作させるためには、省費電力を少なくする必要があり容易に電力増加は図れない。電波利用にかかる制度において簡便な利用に供する特定小電力無線局が１０mW以下の空中線電力に限られる基準があるため、この基準値での電波伝搬特性の検証を行うこととして１０mWを選択した。

②　周波数帯について

雪崩ビーコン、ヤマタン、富山県工業技術センター試作機、ＡＴＲ試作ビーコンなど、各種の電波ビーコンが、異なる周波数帯を用いて試験を行っている。一般的

に周波数が低い方が障害物の影響を受けにくく遠くまで電波が到達するが、受信アンテナが大きくなるほか、より正確に電波の方向探知を求めるには難がある。逆に、周波数が高い場合は、受信システムのアンテナは小さくできるが、ビーコンからの電波は、障害物や反射波の影響が大きくなり、山間地帯では捜索が多少なりと難しくなるケースが考えられる。

富山県工業技術センターが行った検討結果において、最も優れたものとは言えないが３００～５００ＭＨｚが適当としている。これらのことを踏まえ当検討会では、この中の４２８ＭＨｚ帯を選択した。

③ 変調方式について

遭難者探索用ビーコン発信機として変調方式を検討する場合、発射源を探索する機能のみが要求されるのであればＳＳＢが省電力と考えられるが、ＩＤ番号重畳、ＧＰＳデータの重畳を前提に考えているため、一般的に無線通信において利用されているＦＭ、ＡＭ、ＳＳＢ、ＰＳＫ、ＳＳ等変調方式のうちから、システム構築が簡易なＦＭ、又は、ＰＳＫを有力候補とした。

ＦＭ、ＰＳＫの比較では、比較的ＦＭの方が省電力化に適していると同時に受信システムを検討した場合、比較的構成が単純でありデータ伝送品質も満足出来るのでＦＭを選択した。

このほか、与えられた電源で長期間の発信を確保するため送信方法は送信／休止を繰り返す間欠送信とし、最新のデジタル技術を用いて探査精度の向上（ピンポイントの位置の測定を可能にして遭難者の個別特定ができる）に関し、高度化における性能を確かめるため、ＩＤ信号ＧＰＳ信号の情報も伝達できるシステムにより検討を行なうこととする。

試験装置（ビーコン発信機）の仕様について整理すると次表のようになる。

表 3-2-1 試験装置（ビーコン発信機）の仕様

項　目	内　容
周波数	428 MHz 帯の周波数
空中線電力	10 mW
間欠発信	送信／休止の繰り返し、その時間を可変することが可能
ID 信号送出	送信機毎に個別信号を付加
GPS 信号送出	送信機に付帯する GPS 受信機で信号を受けて送信機の位置信号として送出、送出／不送出の選択が可能

第４章 山岳遭難者探索用ビーコンモデルシステム検証のための試作機

山岳遭難者探索用ビーコンシステムに求められる性能・機能及び技術的条件等について検討を行い、その検討結果を受けて、検証システムが完成したことから、実用化に向けた課題と方策を明らかにするため、山岳地等での検証試験を実施した。

４－１　検証試験による実証

検証試験の内容は、次のとおりとした。

（1）ビーコンシステムの有効伝達距離

本検討会で検討されたビーコンシステムは数１００m以上の有効通達距離が必要との目標値が示されているが、その距離特性について測定を行う。

検証試験においては、ビーコン発信機と電界強度測定器の距離を、直近である１０mから順次測定距離を伸ばし、どの距離まで必要とする強さ以上の電波が到達するのかを検証する。

（2）ビーコンシステムの方位測定性能

本検討会で検討されたビーコンシステムは数１００m以上の距離において正確な方位測定性能が必要との目標値が示されているが、その方位測定性能について検証する。

検証試験においては、ビーコン発信機と携帯用方向探知器の距離を、直近である１０mから順次測定距離を伸ばし、どの距離まで正確な方向探知ができるのかを検証する。

（3）ビーコンシステム高度化の付加情報の伝達性能

本検討会で検討されたビーコンシステムは数１００m以上の距離において正確な付加情報の伝達性能が必要との目標値が示されているが、その伝達特性について検証を行う。

検証試験においては、ビーコン発信機と携帯型受信機の距離を、直近である１０mから順次測定距離を伸ばし、どの距離まで付加情報を正しく伝達できるのかを検証する。

（4）その他必要検討事項

ビーコンシステムの実運用状態での有効伝達距離等を確認するためには、基本となる測定の他、地形・積雪の影響、携帯用方向探知器・携帯型受信機・ビーコン発信機の高さ、ビーコン発信機のアンテナの向き等による変化を補足するデータの取得を行う必要があるため、それぞれによるデータを取得する。

４－２　検証試験の概要

平地試験、山岳試験、ヘリコプターによる平地・山岳試験を無積雪と積雪で行い、雪による影響についても検証する。

以下に検証試験の概要について示す。

（5）測定機材

有効伝達距離の測定、方位測定性能、付加情報の伝達性能等、試験に必要な測定機材を以下に示す。

表 4-2-1 測定機材一覧

No	品　名	型　名	備　考
1	ビーコン発信機	―	ｼｽﾃﾑ構成品
2	携帯型受信機	―	ｼｽﾃﾑ構成品
3	携帯用方向探知器	TD-L8640P	ｼｽﾃﾑ構成品
4	電界強度測定器（電測計）	ML524B	428ＭＨｚ帯
5	同上用受信アンテナ		同上
7	デジタルマルチメータ	―	
8	データ収集用ノートパソコン	（収集用 S/W 含む）	ﾍﾘｺﾌﾟﾀｰ試験用
9	GPS 受信機	FG-530	ｼｽﾃﾑ構成品
10	接続ケーブル一式	―	

（6）無積雪での平地試験（神通川河川敷公園）

広い平地で、ビーコンシステムの有効伝達距離、方位測定性能、付加情報の伝達性能その他について検証試験を行う。

① 有効伝達距離の測定試験

ビーコン発信機の距離を、１０、２０、５０、１００、２００、５００、６００、７００ｍと変化させ、各距離での電界強度（垂直偏波、水平偏波）を電界強度測定器で測定する。また、ビーコン発信機の垂直偏波及び水平偏波が360°回転したときの電界強度を測定し、携帯型受信機に対するビーコン発信機のアンテナ向きによる影響を測定する。

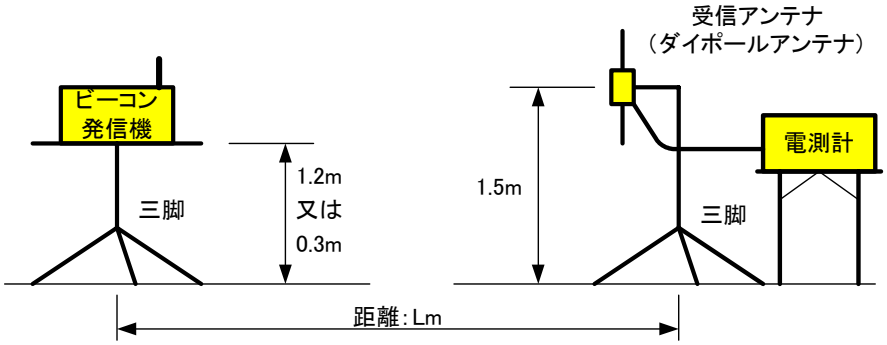


図 4-2-1　有効伝達距離の測定方法

② 方位測定性能試験

有効伝達距離測定試験時に、携帯用方向探知器ＴＤ－Ｌ８６４０Ｐを用いて方位測定を行う。方位はＴＤ－Ｌ８６４０Ｐのアンテナ基部にある方位表示器（８方向表示）により確認する。また、ＴＤ－Ｌ８６４０Ｐ本体から電圧値として出力されている受信レベルをデジタルマルチメータで測定する。

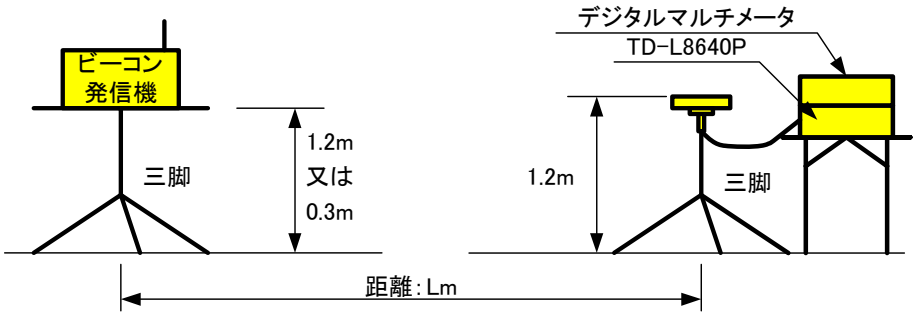


図 4-2-2　方位測定性能試験の方法

携帯用方向探知器のアンテナは、方位（BEARING）指示値「１」と「８」が同程度に点滅する向きに（０°方向）設置する。

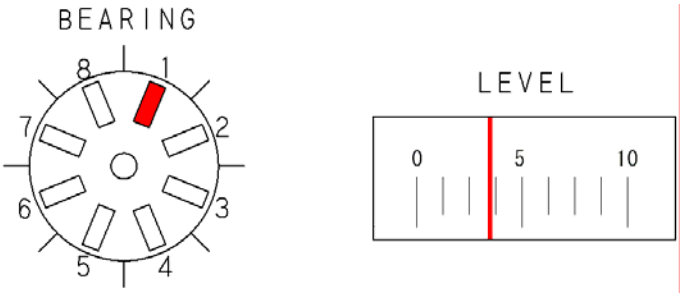


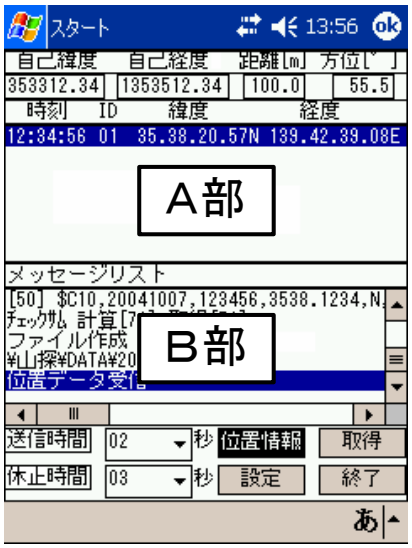
図 4-2-3　携帯用方向探知器の測定方法

③ 付加情報の伝達性能試験

ビーコン発信機と携帯型受信機の距離を変えて、ビーコン発信機から送出される、ＧＰＳデータとＩＤ番号の付加情報を携帯型受信機で受信し、ＰＤＡでＧＰＳデータとＩＤ番号の付加情報を確認し伝達性能を測定する。

右図は、ＰＤＡの運用画面である。

Ａ部には、受信時刻・ＩＤ番号・位置情報（緯度、経度）を表示する。また、Ｂ部には受信状態の解析結果を表示する。



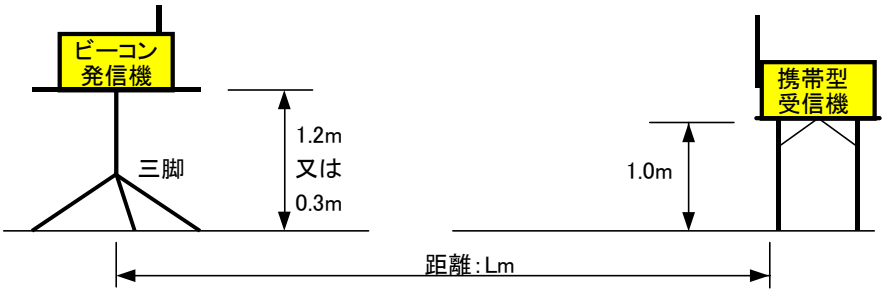


図 4-2-4　付加情報の伝達性能試験の測定方法

④ 人体の受信状態への影響

その他の検討事項として、人体による影響を調査する。

人がビーコン発信機を持ち、携帯型受信機に対し０°、９０°、１８０°、２７０°方向に回転し有効伝達距離、方位測定性能、付加情報の伝達性能を測定する。

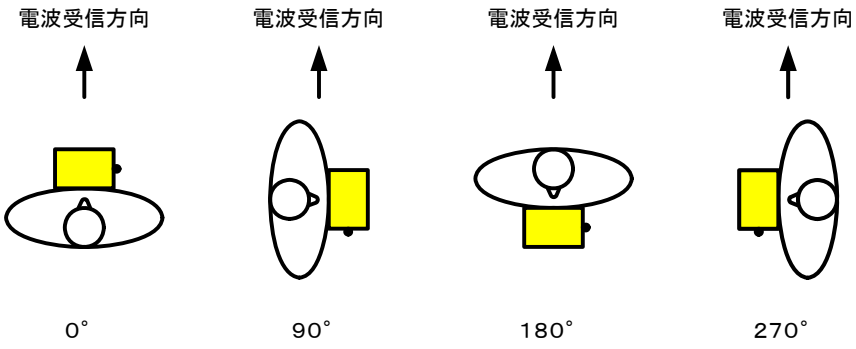


図 4-2-5　受信状態の人体の影響

⑤ 受信アンテナ高さによる受信レベルの確認

ビーコン発信機を地上高１．２mに固定し、電界強度測定器の受信アンテナの高さを５m及び１０mと変化させ、受信レベルの変化を調査する。高さの変化による空中伝搬性能を測定し、ヘリコプターでの測定の有効性を確認する。

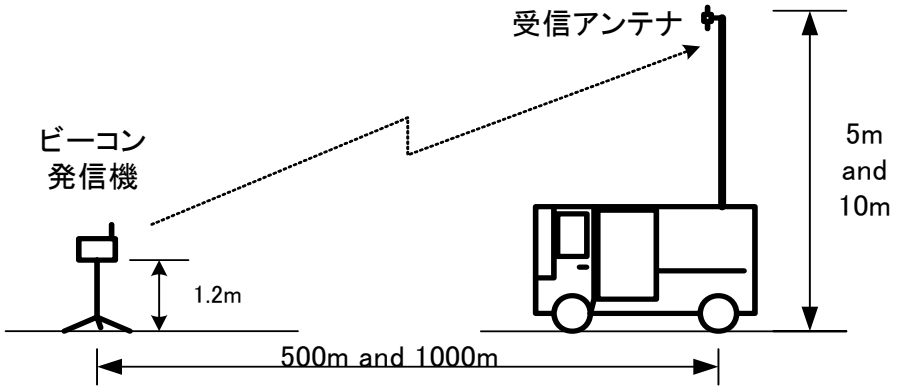


図 4-2-6　受信アンテナ高さによる受信レベルの確認

（7）平地試験（常願寺川河川敷公園）

積雪１．５ｍ以上が予想される立山駅近くの常願寺川河川敷公園で無積雪と積雪の有効伝達距離の測定を行い性能の比較を行う。

① 無積雪での有効伝達距離測定試験

「平地試験（神通川河川敷公園）」の有効伝達距離測定と同様にし、ビーコン発信機との距離を２０、４０、５０、７０、８０、１００ｍと変化させ、各距離での電界強度（垂直偏波、水平偏波）を測定する。

② 積雪での有効伝達距離測定試験

上記、無積雪時と同様に有効伝達距離測定を行う。ただし、ビーコン発信機は雪中０．８ｍ、雪上、雪上１．０ｍに設置し各々測定を行う。設置状態は以下に示すとおりである。

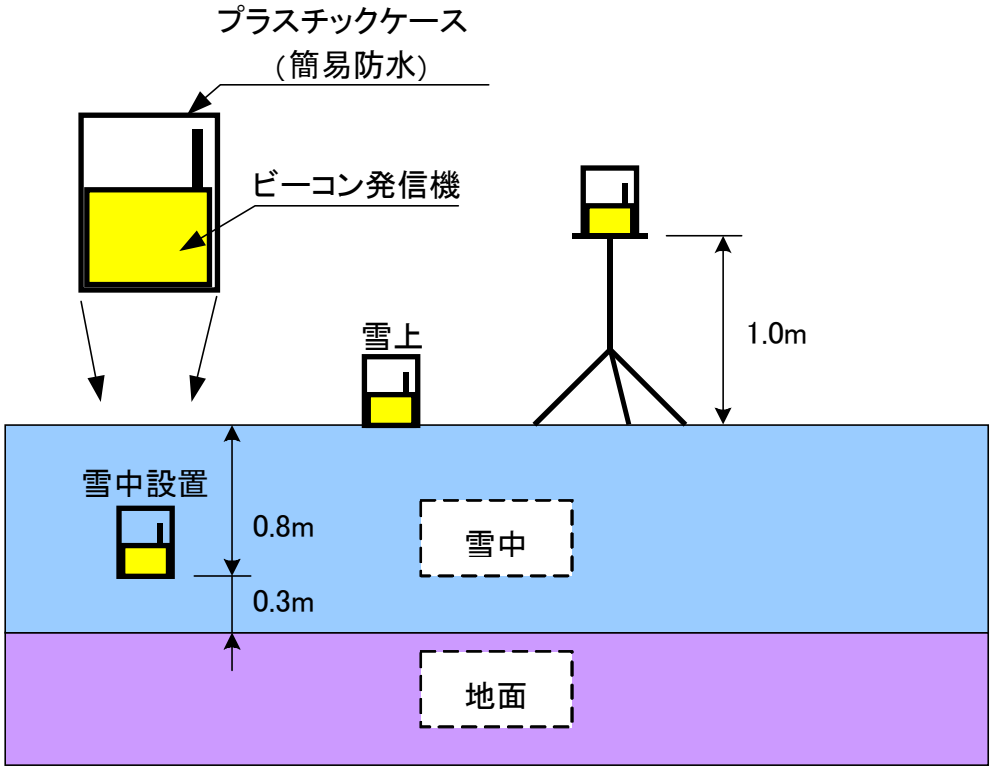


図 4-2-7　積雪のビーコン発信機設置方法

（8）山岳試験（文部科学省登山研修所）

山岳で有効伝達距離測定、方位測定性能、付加情報の受信性能の試験を行い、地形及び雪による影響を調査・検証するため、積雪１．５m以上が予想される文部科学省登山研修所で測定を行う。

① 無積雪での測定

測定場所を以下のとおり変化（Ｎｏ．１，Ｎｏ．２，Ｎｏ．３）させ、各地点での有効伝達距離測定（垂直偏波、水平偏波）、方位測定性能、付加情報の受信性能の各測定を行う。

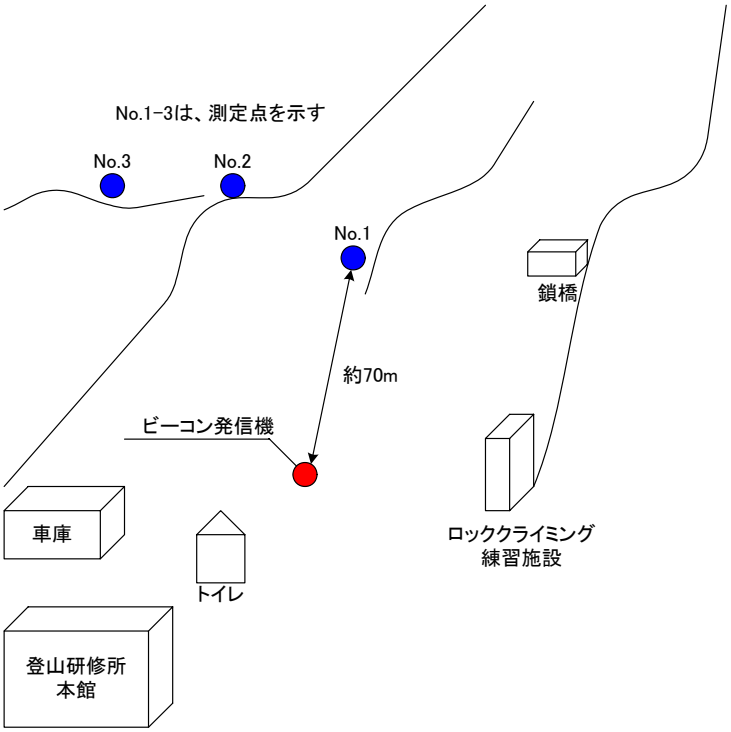


図 4-2-8　山岳試験測定地点

② 積雪での測定

上記、無積雪と同様に各測定を行う。ただし、ビーコン発信機は図 4-2-6 と同様にし雪中１．２５m、雪上、雪上１．０mに設置する。

（9）ヘリコプター試験（平地：殿様林緑地公園、山岳：来拝山駐車場）

ヘリコプターを使用し平地・山岳での、空中伝搬の有効性の検証を行う。

無積雪で、平地及び山岳での受信性能を調査し、積雪での雪による影響を検証する。

① 無積雪での測定

無積雪では平地測定及び山岳測定を実施する。平地試験は、殿様林緑地公園を使用し、山岳試験は来拝山の駐車場を使用し、ヘリコプターによる空中伝搬での測定を実施する。

以下に測定高度及び距離の関係を示す。

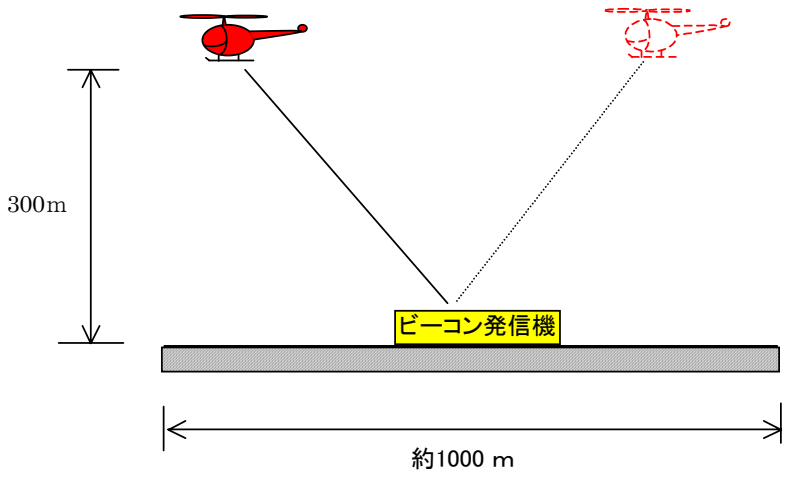


図 4-2-9　平地測定　殿様林緑地公園

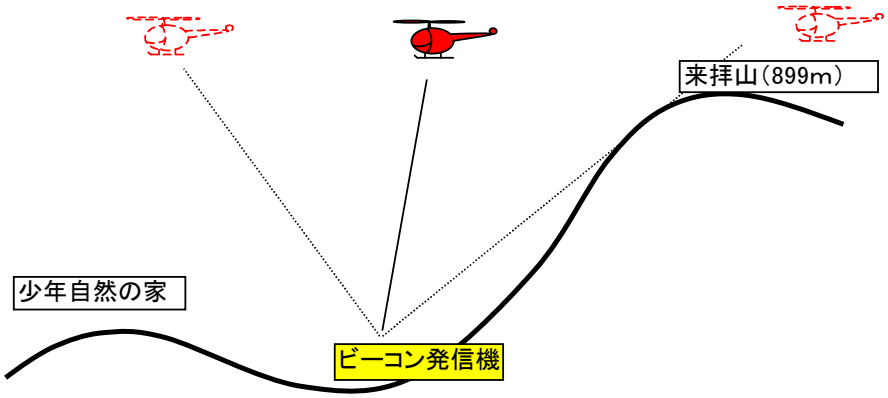


図 4-2-10 山岳試験　来拝山駐車場

携帯用方向探知器（ＴＤ－Ｌ８６４０Ｐ）、携帯型受信機およびＧＰＳ受信機を機内に持ち込み、それぞれのアンテナ部を窓（進行方向右側）の内側に設置した。

以下、図 4-2-11 にヘリコプター機器設置状態を示す。

図 4-2-11 山岳試験　ヘリコプター機器設置状態

４－３　検証試験結果と考察

環境の影響による検証試験結果を以下に示す。

（10）平地における試験結果（神通川河川敷公園）

この試験では、試作機の基礎的データを取得し、後の様々な環境下でのデータとの比較、動作確認をし、考察するための基準を作るために行ったものである。

① 条件

下記のような試験に適した場所を、次のように決定した。

場所：富山県婦負郡婦中町塚原土手割　婦中町神通川緑地公園内

尚、試験要領については、検証試験の概要のとおりである。

(a) できる限り平坦な地形であり、障害物・反射物などが存在せず、ビーコン発信機から発射する電波が、携帯型受信機、及び、電界強度測定器に直接に到達する場所を選定すること。

(b) 発射される電波の地上からの反射波が、自然物等の場所であること。

(c) 目標値である数百m以上の直線距離があり、１ｋｍ程度までは、測定できる場所であること。

② 試験結果

(a) ビーコン発信機、携帯型受信機、及び、電界強度測定器の偏波面が垂直で一致している条件で、ビーコン発信機の高さが１．２m、電界強度測定器の高さが１．５m、ビーコン発信機と電界強度測定器の距離を７００mで測定した場合、電界強度２５．３ｄＢμＶ／mであった。また、携帯型受信機の高さを１．０mとした場合、７００mまで、ＧＰＳデータとＩＤ番号の受信が正確にできた。これは、現在の携帯型受信機の信号解析等の能力は、電界強度が約２５．０ｄＢμＶ／mであることがわかった。

(b) ビーコン発信機、電界強度測定器の偏波面が異なる場合、電界強度は約１０～２０ｄＢの損失があった。このデータからは、偏波面が異なると受信電界強度は減少し、結果的に信号を解析できる距離が減少することがわかる。距離的には、垂直の場合と比較し、信号を解析できる距離が半分以下に減少することとなる。

(c) ビーコン発信機を地上高１．２mから０．３mとした場合、電界強度は約１０．０ｄＢ損失した。

(d) 電波の到来方向性の測定については、ビーコン発信機、携帯用方向探知器の空中線の偏波面が、同じく垂直である場合のみ、正確な方向を示した。これは、携帯用方向探知器の構造上の特性と考えられる。

(e) ビーコン発信機を人間が持った状態（距離４００ｍ）で、正面（見通し状態）を０°とし１８０°回転（人間の体が間に入った状態）したとき約１０ｄＢ損失し、携帯型受信機による付加情報の解析は不可能となった。ただし、方位は正確に測定できた。

(f) 地上面からの反射等に影響されないように、受信点の高さを、５ｍ、１０ｍとした場合、付録の表にあるとおり数ｄＢ電界強度の値が増加する。これは、地上で測定するのでなく、ヘリコプターなどの上空からであれば、より有効であることがわかった。

(g) 到達距離及び測定可能距離の関係は、重畳されたＩＤ信号を復調しデジタル信号に変換後、ＩＤ番号を認識するが受信レベルが低くなるとＳ／Ｎが悪くなり、デジタル信号への復調が困難になる。また、方向探知器では受信レベルの検出により方位計算しているためデジタル信号の復調に関係なく測定できる。

③ 検証試験実施写真

写真 4-3-1
携帯用方向探知器及び携帯型受信機の設置
（神通川河川敷公園）

写真 4-3-2
電界強度測定器の受信アンテナ高さ試験風景
（神通川河川敷公園）

④ 距離と電界強度及び偏波面の関係グラフ

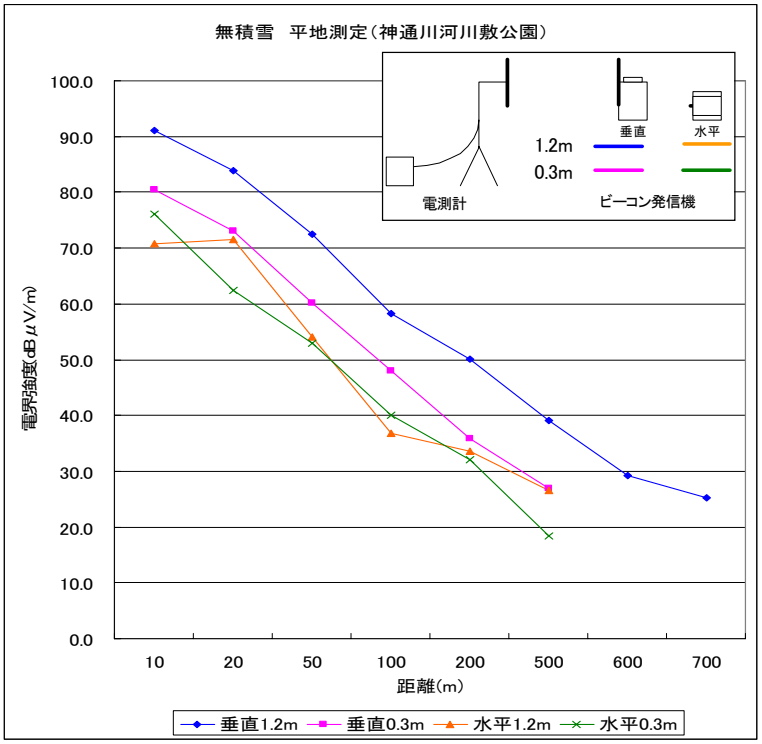


図 4-3-1　距離と電界強度及び偏波面の関係グラフ

（11）平地における試験結果（常願寺川河川敷公園）

この試験では、ビーコン発信機から発射される電波が、積雪においては、どのような影響を受けるのかを確認する。比較するデータとして、無積雪での事前データ取得を行い、積雪でのデータの比較を行い影響を考察する。

① 条件

下記のような試験に適した場所を、次のように決定した。

場所：富山県中新川郡立山町芦峅寺　常願寺川河川敷公園内

尚、試験要領については、検証試験の概要のとおりである。

(a) できる限り平坦な地形であり、障害物・反射物などが存在せず、試作機から発射する電波が、携帯型受信機、及び、電界強度測定器に直接に到達する場所を選定すること。

(b) 発射される電波の地上からの反射波が、自然物等の場所であること。

(c) 目標値である約百m以上の直線距離があり、冬季に積雪１．５m以上あること。

② 試験結果

(a) ビーコン発信機と電界強度測定器の偏波面が異なる場合、無積雪のとき電界強度は約１０～２０ｄＢの損失があったが、雪下０．８mのとき偏波面の影響による損失が約５ｄＢ以下となり差が減少した。よって、雪下では偏波面による影響が少なくなると考える。

(b) 無積雪と積雪の電界強度の値は、７０m及び１００mで近似値となっており、近距離では雪による減衰は無視できる値と考える。

(c) 積雪１．１m時に雪の中に埋めたとき（地上高０．３m、雪下０．８m）及び雪上と雪上１．０mの３点で有効伝達距離測定及び方位測定性能と付加情報の伝達性能測定を行った。方位測定性能及び付加情報の伝達性能は問題なく約１５０mまで測定することができた。約０．８mの雪中埋設で距離１５０mでは、有効伝達距離測定への影響はほとんど無かった。

(d) 測定距離が７０m及び１００mのとき、電界強度の値が無積雪の値とほぼ同じ４５～５５ｄＢμＶ／mとなることから、雪下０．８mの深さでは雪の影響による減衰は無視できる値であると考える。

③ 検証試験実施写真

写真 4-3-3
積雪での測定１
（常願寺川河川敷公園）

写真 4-3-4
積雪での測定２
（常願寺川河川敷公園）

④ 無積雪と積雪での距離と電界強度の関係

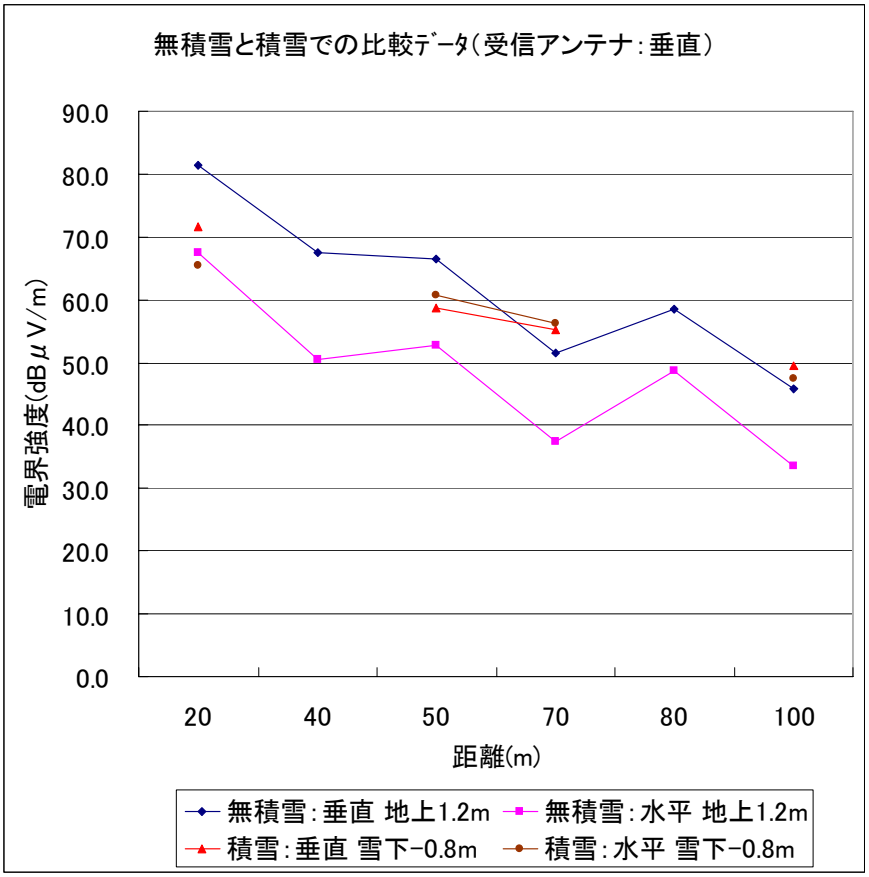


図 4-3-2　無積雪と積雪での距離と電界強度の関係

⑤ 積雪時における距離と電界強度の関係

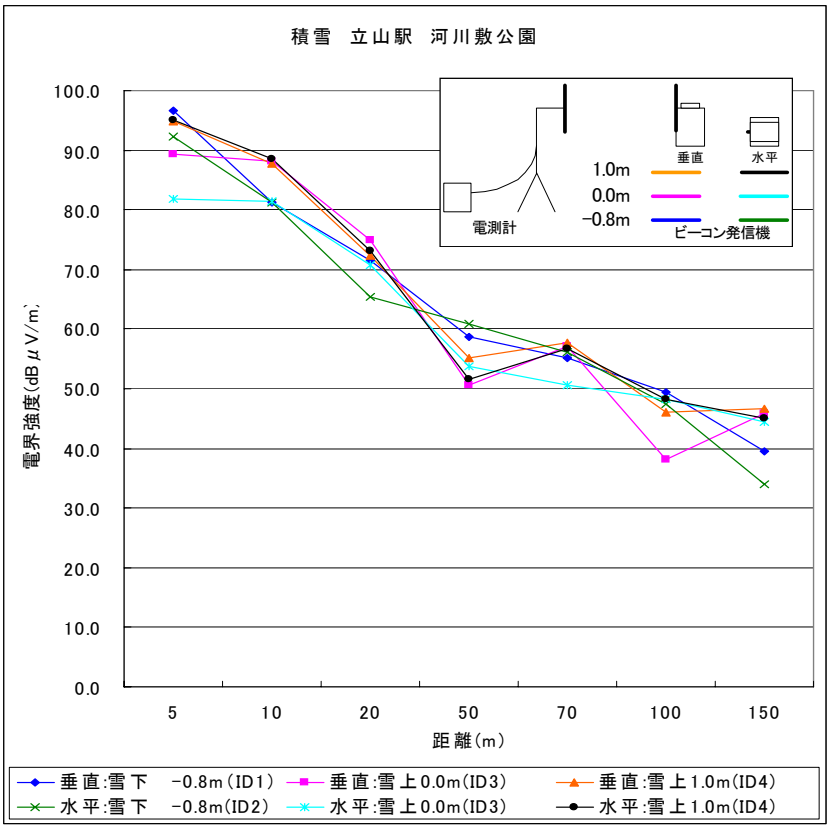


図 4-3-3　積雪での距離と電界強度の関係

（12）山岳における試験結果（場所：文部科学省山岳研修所）

この試験では、ビーコン発信機から発射される電波が、山岳の地形による影響及び雪の影響を、どのように受けるのかを確認する。また、積雪による影響を比較するデータとして、無積雪での事前データ取得を行い、積雪でのデータの比較を行う。

① 条件

下記のような試験に適した場所を、次のように決定した。

場所：富山県中新川郡立山町芦峅寺　文部科学省山岳研修所　スキー場

尚、試験要領については、検証試験の概要のとおりである。

(a) できる限り実際の山岳に近似する地形であり、障害物・反射物などが存在し、ビーコン発信機から発射する電波が、携帯型受信機、及び、電界強度測定器に間接的・反射的に到達する場所を選定すること。

(b) 発射される電波の地上からの反射波が、自然物等の場所であること。

(c) 冬季には積雪１．５m以上あること。

② 試験結果

(a) 本来であれば、５００m以上の距離を確保し、実際の地形に近似する場所を選定すべきであったが、積雪時の測定方法、測定場所も考慮に入れて、この場所を選定した。

(b) Ｎｏ．１（距離７０m）は斜面での障害物がない場合の測定、Ｎｏ．２（距離７０m）は樹木が障害物となり、電波の通り道をふさぐ場合の測定、Ｎｏ．３（距離８５．２m）は地形上見通しが困難な場合の測定とした。

(c) 無積雪でのＮｏ．１の垂直偏波のデータは、６６．８ｄＢμＶ／mであり、平地での基礎データと比較しても、ほぼ近似しており、山岳地形の障害物がない場合は、影響がないと推察できる。

(d) 同様に、Ｎｏ．２、Ｎｏ．３の垂直偏波のデータは、障害物である樹木、地形・樹木の障害物が影響し、１０～２０ｄＢの損失があった。

(e) 無積雪での水平偏波のデータでは、Ｎｏ．３の見通しが悪い状態のとき、電界強度が垂直偏波より高くなっており、見通しの悪い地形では偏波面の影響及び反射波による電界強度の変化が認められた。

(f) 積雪での電界強度の比較では、同じ垂直偏波の測定で、１５～２０ｄＢμＶ／m低い値となり、傾斜地での雪の影響が伺える。平地での近距離では雪の影響が無視できる値であったが、山岳では木に付いた雪の影響又は傾斜地の雪壁が影響していると考える。

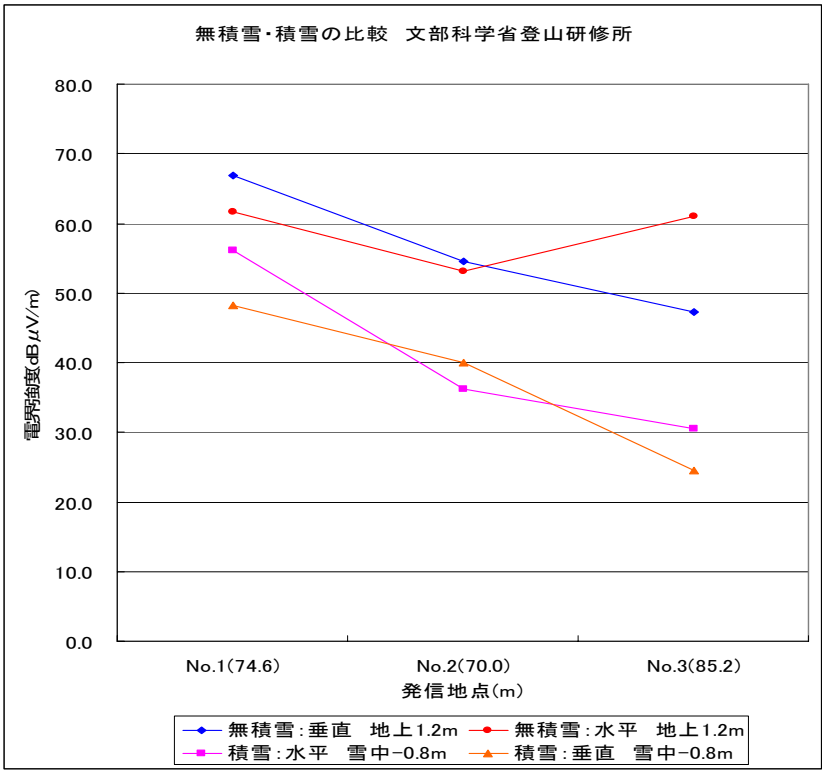
(g) 携帯用方向探知器の方向指示については、水平偏波、垂直偏波においても、ビーコン発信機間に樹木等が有ると反射を受け、正確な方向指示をしない場合があったが、ＧＰＳデータ、ＩＤ番号受信は、全て正確に受信できた。

③ 検証試験実施写真

写真 4-3-5
積雪時の山岳試験１
（文部科学省登山研修所）

写真 4-3-6
積雪時の山岳試験２
（文部科学省登山研修所）

④ 無積雪と積雪での位置と電界強度の関係



＊ 雪中、地面より 0.25m、雪面より深さ 1.25m
＊ ビーコン発信機の位置を固定し、受信機の位置を No.1～3 に移動し測定
＊ 電界強度測定器の受信アンテナは垂直偏波

図 4-3-4　無積雪と積雪での位置と電界強度の関係

（13）ヘリコプターにおける試験結果

この試験では、ビーコン発信機から発射される電波が、空中伝搬をどのように到来し受信できるか確認する。また、積雪による影響を比較するデータとして、無積雪での事前データ取得を行い、積雪でのデータとの比較を行う。

① 条件

ヘリコプターで受信するため、ビーコン発信機を設置する場所として下記のような試験に適した場所を、次のように決定した。

平地：富山県中新川郡立山町　殿様林緑地公園

山岳：来拝山　駐車場

尚、試験要領については、検証試験の概要のとおりである。

(a) ヘリコプターの飛行に問題となる地上施設が付近にないこと。

(b) 発射される電波の地上からの反射波が、自然物等の場所であること。

(c) 冬季には積雪１．５m以上があること。

② 試験結果

(a) 平地でのヘリコプター試験は、基本データの取得であり積雪での試験は山岳での試験のみとした。

(b) 携帯用方向探知器(TD-L8640P)、携帯型受信機およびＧＰＳ受信機を機内に持ち込み、それぞれのアンテナ部を窓(進行方向右側)付近に設置した。また、都合上、機体に外部アンテナが設置できなかったので、携帯用方向探知器Ｓメータ出力電圧[Ｖ]を、校正表に基づき電界強度[ｄＢμＶ／ｍ]に換算した。このため、電界強度データには、ヘリコプター自体や機内の副次的な影響も含まれるが、到来する電波強度に強く相関するため、有効到達距離の判断基準として有効である。

(c) 無積雪の平地（殿様林緑地公園）における、ヘリコプターからの携帯用方向探知器では約４．５ｋｍ手前より方位測定が可能であることが確認できた。同様に、携帯型受信機では約４ｋｍ手前より付加情報の受信が可能であることが確認できた。

(d) 山岳（来拝山：駐車場）における、ヘリコプターからの方位測定では山岳の地形が大きく影響し、ビーコン発信機からの見通しが無くなると受信レベルも極端に減衰し方位測定が不可能となることが確認できた。

(e) 積雪での測定距離については、無積雪より短く約１．６ｋｍの距離より方位測定が可能であることが確認できた。

(f) ＧＰＳ受信機による位置測定で、ＧＰＳ受信機の受信アンテナ面が横を向いた状態では衛星の電波受信状態が悪く位置測定が出来なかった。このとき、アンテナ面が山岳に遮蔽され仰角の低い衛星捕捉が不可能になるためと考える。ＧＰＳ受信機の受信アンテナの実装では、アンテナ面が上空を向くように検討する必要がある。

(g) 本試験で、無積雪での水平偏波に設置したビーコン発信機が、衛星を補足できず、記録に残すことができなかった。また、積雪時に設置したビーコン発信機では測定時に衛星捕捉不可となり、時刻更新ができず付加情報の受信時刻と位置関係の解析ができなかった。

③ 検証試験実施写真

写真 4-3-7
富山県警本部　警察航空隊
ヘリコプター「つるぎ」

写真 4-3-8
「つるぎ」から見たビーコン発信機設置場所
（来拝山）

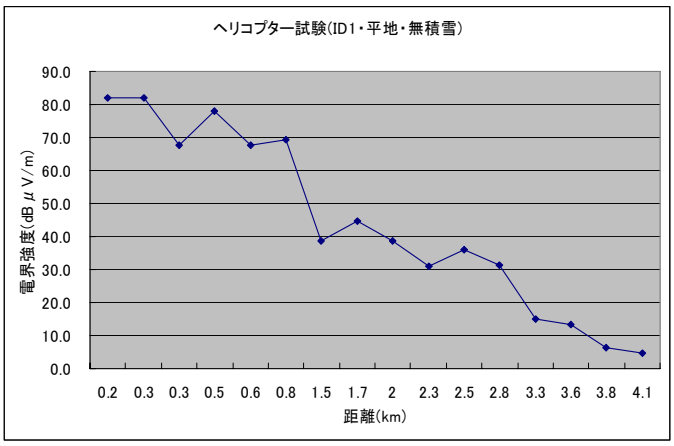


図 4-3-5
無積雪：平地
ＩＤ１（垂直偏破）の距離と電界強度

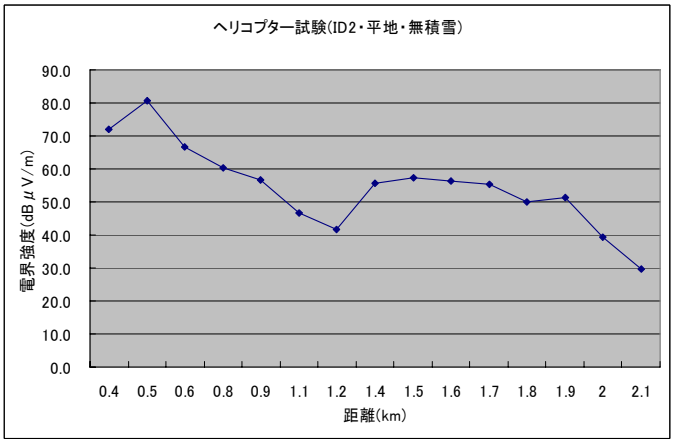


図 4-3-6
無積雪：平地
ＩＤ２（水平偏破）の距離と電界強度

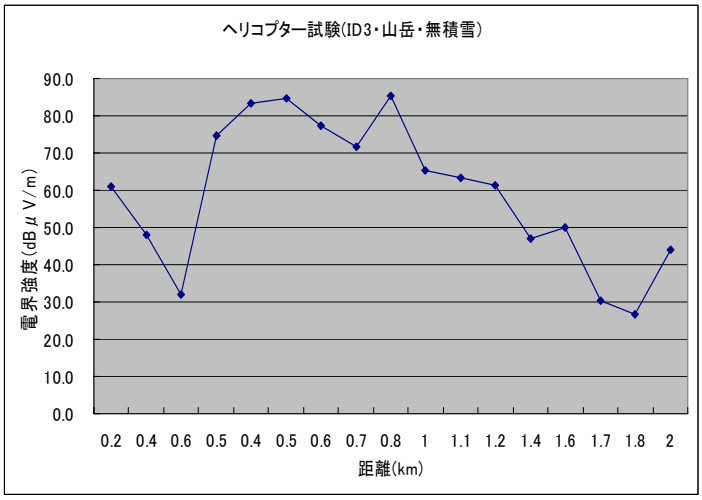


図 4-3-7
無積雪：山岳
ＩＤ３（垂直偏破）の距離と電界強度

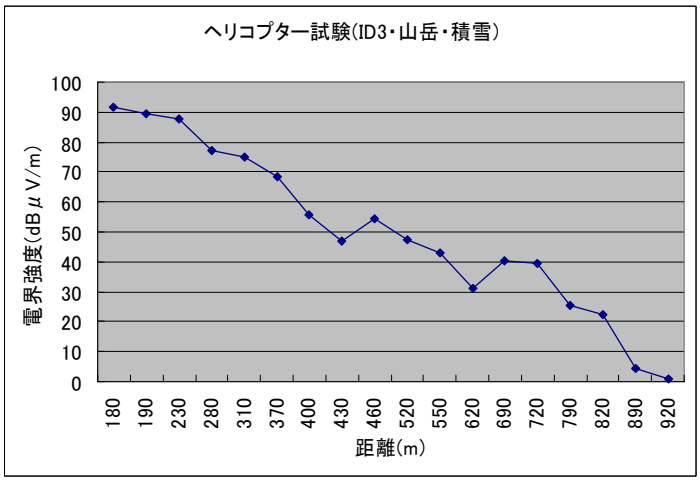


図 4-3-8
積雪：山岳
ＩＤ３（垂直偏破）の距離と電界強度

（5）まとめ

平地での試験結果より、有効測定範囲は実証されており山岳部であっても見通しでの測定距離は問題がないと考える。また、積雪による電界強度への影響は以下の４点が考えられる。

(i) 近距離での電界強度への影響は少ない。

(ii) 木などに着雪した雪の影響は大きい。

(iii) 見通し外の時の影響は大きく電界強度が小さくなる。

(iv) 偏波面の関係は、無積雪と比較して積雪の方が小さい。

ヘリコプターを利用しての空中からの測定では、地上での測定と比較して有効な測定結果が得られた。ＧＰＳデータが解析できる状態であれば、ピンポイントでの探索が可能であり、もしＧＰＳデータが解析不可能（ＧＰＳからの電波が何らかの影響で受信されてない、または、ＧＰＳユニットの故障）な状態でも、有効到達距離が長くなることから携帯用方向探知器での大まかな方位測定が可能である。

なお、空中でも見通し外及び積雪の状態では有効到達距離が短くなった。

第５章 実用化に向けての方策と課題

５－１　検証試験の評価と実用化の方策

山岳遭難者探索用ビーコンシステム（以下「ビーコンシステム」と呼ぶ）において、検証試験を通してその実現性への検証を行うべき事項を及び評価に際し目標とした値は概ね以下のとおりである。

・５００ｍ以上の距離からビーコン発信機の探索が可能である。
・ビーコン発信機を探査する能力の向上。
・ビーコン発信機から付加情報の伝達。
・一週間以上の連続運用が可能。
・登山者が携帯可能な大きさ、重さ、構造の確保。
（その他普及のための方策の検討も行うとされた）

これらについて、第４章にとりまとめた検証試験を行い、その取得データ及びこれらの分析・検討により実用化に向けた評価を行い、これを元に実用化に向けた方策を検討した。

なお、実験データを取得するために、作成した試験装置（送信部）の主な仕様は概ね次のとおりであり、これの適性等の評価も併せて行うこととする。

〇試作機の送信部性能
・空中線電力：　１０ｍW
・周波数：　４２８ＭＨｚ帯
・ＩＤ信号の重畳：（ＧＰＳと同時重畳可）
・ＧＰＳ信号重畳：（重畳・断の機能有）
・ 送信パターン：　３秒送信、２秒休止の間欠送信を基本に変更可

（1）探索可能範囲について

無積雪における地上からの探査では、ビーコン発信機を１．２ｍの高さに設置した場合の探索可能距離はおよそ１，０００ｍで上空からの同距離は４，５００ｍであった。

一方積雪時にビーコン発信機を雪中０．８ｍに埋めた条件で地上からおよそ１５０ｍ以上（測定場所の制限からこれ以上の距離が確保不可）上空からでは１，６００ｍとなった。いずれも求められた要求値を満足するものと評価できる。

その際、電波の偏波面が受信側と不一致、伝搬路上の障害物の存在等により、探索可能距離は減少することも検証された。

とりわけ、無積雪の地上の探査で発信機を０．３ｍに設置すると探索可能距離は半減することも明らかとなった。

試作機の送信部性能のうち「周波数」と「空中線電力」の２要素についての選定値については以下のように評価する。

・周波数の選定

検証試験では本検討会の検討結果から試験機に、４２８ＭＨｚ帯の周波数を装備して行ったが、前述のとおり当初目標として設定した機能を得るための判断においては十分に満足される結果を得た。

また、上空からの捜索の検証において、ビーコン発信機が稜線で遮られたとき急激に受信電界が低下する現象を確認しており、捜索活動の補助情報として利用できるのであれば、十分な直線性を有していることとなり、ビーコンシステムが採用する周波数の１つの候補として奨励できるものである。

しかし、後述の検討課題において詳述するとおり、試験機と受信側の偏波面の不一致による探索可能範囲の減少等を考慮すると、これより低い周波数が良いことも想定できる。

・空中線電力の選定

検証試験では試験機の空中線電力を本検討会の検討結果から、１０ｍWとして行ったが、前述のとおり当初目標として設定した機能を得るための判断においては十分に満足される結果を得た。

しかし、上空からの捜索時におけるビーコン発信機からの電波の到達距離を考慮すると、飛行中はかなりの面積の中に存在するビーコン発信機からの電波を受信してしまう。冬山登山者そのものが少数であるという利用環境での使用を想定するならば問題はないが、そうでない場合、ＩＤ信号を付加したとしても、ビーコン電波の発射タイミングのダブリが起きやすくなり、探索対象を選別することが困難になると想定される。

このため、利用形態に応じて必要最小の値に設定することも考慮すべきであるほか、ＩＤ信号の重畳に関してはこれらの状況にも対応可能な方策を考えなければならない。

（2）探索能力及び精度向上について

探索精度の向上については本検討会での検討の結果、探索方法の改善とデジタル技術によるシステムの高度化を図ることとし､検証試験でその効果を検証した。

①　探索方法の改善による精度向上

従来のヤマタン等のビーコンシステムでは、到来電波に対して受信空中線を意識的に指向性の中心部とこれから外れるところで捕らえ、その強度の差が現れることの確認を繰り返して方向の絞り込みをする探査方式を採用していた。

検証試験では受信側に電波の到来方向を検出するための信号処理機能を持つ方位測定器を採用したことにより、経験や感性に左右される従来の探査方法

に比べ格段に探索精度が向上されたところである。（詳述は付録を参照）

また、今回は試験機を３秒送信・２秒休止の送信パターンに設定し、方探端末を初めて操作する参加者に当該試験機の位置探査を試行させたところ、それほど迷いもなく位置の特定ができた。

このことから、３秒の送信は当該方探端末の信号処理に精度低下となる要因とならず、これの操作者が位置探査の諸判断に要する時間を確保できていると考えられる他、２秒以内の休止ならば、操作者の位置探査の諸判断に迷いなどを生じさせない範囲であると評価できる。

② 位置情報等の重畳による精度向上

無積雪における地上からの位置情報の受信（ＧＰＳ信号及びＩＤ信号の分析処理）では、ビーコン発信機を１．２ｍの高さに設置した場合はおよそ７００ｍの距離まで可能であり、上空からの同距離は４，０００ｍであった。

一方積雪時にビーコン発信機を雪中０．８ｍに埋めた条件では地上からおよそ１５０ｍ以上（測定場所の制限からこれ以上の距離が確保不可）となった。（上空からの実証は機器故障のため実施不可）

いずれも求められた要求値を満足するものと評価できる。

その際、電波の偏波面が受信側と不一致、伝搬路上の障害物の存在等により、探索可能距離は減少することも検証された。

①及び②の評価を導いた試作機の送信部性能のうち「周波数」と「変調方式」の２要素についての選択については以下のように評価する。

・周波数の選定

試験機に４２８ＭＨｚ帯の周波数を装備して行った検証結果は、当初目標として設定した機能を得るための判断においては十分に満足される結果を得ており、数１０メガヘルツ帯の周波数に比して、顕著な直進性が期待出来ることから方位情報の分析が容易と思われ、候補とする周波数の１つとすることができる。

しかしながら、後述の検討課題において詳述することとするが、試験機と送信側の偏波面の不一致による到達距離の減少等を考慮すると、これより低い周波数が良いことも想定できる。

・変調方式の選定

位置情報等の付加信号の重畳を想定しない場合、電池の消耗にのみ依存する連続使用時間の拡大から、ＳＳＢ方式が優れていると判断できる。（トーン信号の有無で容易に送受信の切替：キャリアの発射がないので消費電力が少ない。）

一方、位置情報等の信号を重畳する場合は、受信側での信号の復調が複雑

になるほか、電波の到来方向を検出するための信号処理機能に少なからぬ影響を与えることが懸念される。

試験機には本検討会の検討結果から、ＦＭ（２値ＦＳＫ）を採用して検証した結果、方位測定においては信号の重畳による測定精度の低下などの問題は起こらず、かつ、位置情報等の重畳信号を目的とする距離においても正確に受信することができ、探索対象を識別するとともに、ピンポイントでの位置の把握が出来、当初目標として設定した機能を得るための判断においては十分に満足される結果を得た。

（3）連続運用時間について

連続運用時間については本検討会での検討で、１週間以上連続して使用が可能なビーコン発信器の構築を目標にした。電池をできる限り長時間動作可能とするために試験機でも間欠発信方式を採用し、検証試験でその効果を検証した。試験機を実運用に供される構成品（特に電池）で構築して検証していないので、持続時間と休止期間とのデューティ比を変化した場合の電池の長寿命化の極限的数値を評価できないが、明らかに発射持続時間を短くし休止時間を長くした方が長寿命化を図れる。

ここで、ビーコン発信器の実用化に当たっての概念を整理し、市場調査で得た情報から、極めて粗い設計を試みて、連続運用時間の確保について検討してみることとする。

その送信電力は試験機に採用した１０mWが最適か、さらに検討が必要なことは既に述べたが、実用に供されている同規模の無線発信器について市場調査してみたところ、ある社の１０mWのユニットは電源電圧が３Ｖで消費電流がおよそ４０ｍＡｈであり、７日の連続送信をすると９Ａｈの容量の電池が必要であり、後に述べる携帯性の評価をするまでもなく、間欠発信の送信パターンを採用しなければ実現は困難である。

そこで、方探性能に影響が出る可能性は否定できないが、仮に、送信１、休止３のデューティ比の送信パターンで発射するとしても、単純な試算で導けば１．７Ａｈの電池で満足するので実現可能性が高まるが、この試算は「（２）探索能力及び精度向上について②位置情報等の重畳による精度向上」で述べた付加情報を重畳しない（ＧＰＳ受信機を稼働させない）場合のものであるので注意されたい。

比較のため、同社の１mWのユニットは電源電圧が３Ｖで消費電流がおよそ１０ｍＡｈであるので、先の送信パターンで発射すると、単純な試算で導けば４２０ｍＡｈの電池容量で良いため、実現可能性は極めて高くなる。

：検討の詳細値等は付録を参照のこと。

（4）携帯可能性の確保について

検証試験に用いたビーコン発信器は、電波の特性や付加信号重畳によるシステムの高度化に向けた技術的な検証・評価等を短期間に行う必要から、経費的な面も含め既存の製品等を活用することとした。このことから実用化の目標とした携帯可能な形状（容積、重量及び構成品のレイアウト等）を実現することができなかった。

実用化にあたり、携帯電話程度の容積と重量を目標（第二世代の標準的容積である８０から９０ｃｃ：８０グラム以下を意識）としているが、同じように小型化を開発課題にして実用に供されている無線発信器について市場を調査してみた。

「（３）連続運用時間について」で紹介した社の１０mWの送信ユニットは５０mm×３０mm×９mm（１３．５ｃｃ：２３グラム）、１mWの送信ユニットは３６mm×２６mm×８mm（７．５ｃｃ：１５グラム）の簡易筐体に収納されて供給されている。

また、動作源の電池においても携帯電話の８００ｍＡｈ容量のリチューム・イオン電池が５０mm×３５mm×４mm程度の容積（７ｃｃ：１６グラム）なので、これらの技術を集積することにより、実運用に適した防水型の強固な収納筐体の開発を経れば、目標値を満足させることは可能であると思慮される。

この場合、間欠発信の送信パターンによる電波発射のみの機能とした場合のみならず、ＩＤ信号を重畳して送信する機能の搭載も十分可能と判断される他、１次電池化や追加充電等の電池の使用形態の工夫等が可能ならばＧＰＳ衛星からの電波を受信し、信号処理してデジタルデータを重畳する機能を搭載しても実現可能であると考えられる。

：検討の詳細値等は付録を参照のこと。

５－２　実用化に向けての課題

検証試験において、ビーコンシステムを高度化するために備えるべき機能・性能等の把握や実運用に向けた諸現象の確認などが行えたが、それらから、実用システムを構築するに当たってはさらに検討を必要とすることや、技術的に解決しなければならないこと等も明らかになったほか、検討会の検討の中でも何点か課題として整理する必要性が指摘された。

これらについて、「１　検証試験の評価と実用化の方策」における評価等の項目に準じて以下に記述する。

（1）探索可能範囲について

前項における評価では「周波数」と「空中線電力」の選定値について、実用化に向けた方策とともに、さらに検討の要素が有ることを述べた。

そこでも触れたように、試験機と受信側の偏波面が一致しない条件となった場合に探索可能範囲が減少することを考慮すると、実証した周波数はその伝搬において、直進性が強い（偏波面が整然としている）と考えられることから、元々偏波面か整然としていない低い周波数の採用が適していることも想定できる。

一方、あまりにも短波帯に近い領域の周波数であると、直進性が弱まるので方位測定に困難性が生まれることも想定できる。

なお、一世代以上前であれば、高い周波数を利用する場合に消費電力が増すと言う懸念もあったが､デバイス性能の向上から試験機に採用した周波数帯ならば、消費電流を増大するようなことはないので、この点からの考慮は不要である。

また、検証試験では空中橡電力を１０ｍWに選定して行ったが、上空からの捜索時におけるビーコン発信機からの到達距離を考慮すると、１０ｍW以下であっても実用可能と考えられ、消費電力等から適宜な選択が必要と考えられる。

（2）探索能力及び精度向上について

検証試験の結果から、ビーコン発信機のアンテナと受信側のアンテナとが異なる偏波面に設定された場合、方位測定、付加情報の解析可能な距離が減少することが確認できた。

前項における評価では「探索方法の改善による精度向上」と「位置情報等の重畳による精度向上」の２つ要素に分けて、さらに検討の要素が有ることを述べたので、課題の整理もこの２点から行う。

①探索方法の改善による精度向上

検証試験では既に述べたとおり受信側に方位測定器を採用したことにより、探索精度が向上された訳であるが、一方で検証試験に用いた方位測定器は垂

直偏波の電波に対して到来方向を検出する機能を構築していることから、検証結果に見るように偏波面が異なると探査可能範囲の減少の要因となる。

電波の偏波面に左右されない方位測定を可能にするには新たな開発が必要となる。

ビーコン発信機がどのような状況に置かれても発射電波の偏波面を垂直にするためアンテナや設置方法の工夫等も今後の検討課題となろう。

また、従来のビーコンシステムのように、到来電波に対して受信空中線の指向性を利用して方向を絞り込む方式であるならば、受信空中線の工夫で対応できるものと思われる。

さらに、限られた電池容量で実用機を構築していく場合、運用時間の長期化とのトレードオフとなろうが、送信持続時間を短くし、休止時間を長くする方向となると考えられる。この場合においては、方位測定の効率や正確性が当該機器の操作者の能力に委ねられる傾向が強くなる。

（ヤマタンでは、到来電波に対して受信空中線の指向性特性から方向の絞り込みをしているので、探索者自らの感性の中で時間的な平準化が図られ、持続時間が短くても対応出来た）

解決方法としては、方位測定のアルゴリズムを高度化すれば、方位精度も向上できることから、探査の効率も高められるが、機器が高度の信号処理をするため、現在の比較では大型化することと、価格の上昇が考えられる。全体を見極めてトレードオフをしなければならないものと思われる。

②位置情報等の重畳による精度向上

本検討会の検討からビーコンシステムの高度化の柱として、試験機にＧＰＳデータ、ＩＤ信号を重畳し、その効果を検証したところであり、その有用性が確認されたところであるが、これらの信号が必要不可欠であるかどうかとの論議もある。つまり、これらの信号を重畳することにより、バッテリーの消費が増加し、長時間動作の妨げとなる要因となるからである。

しかしながら、登山においては、単独行動もあり得るが、多くの場合は、グループ（複数名）での行動が一般的と言われている。

この場合、捜索・救助の対象となるのはグループか個人かと言えば後者であることは言うまでもなく、リーダーのみがビーコンを携帯しても、意味をなさない事もあり得ることから、全員が携帯することが望ましく、どのビーコンを捜索するべきかを判断するためには、ＩＤ番号による確認が必要不可欠である。

また、同じようにＧＰＳデータをビーコン電波に重畳して送信し、受信側で解析することで、ビーコン発信機の正確な位置を示すことができ、救助隊がピンポイントで救助活動の早期開始が可能となる。

しかし、これらの信号を重畳することにより、バッテリーの消費が増加することは明らかで、長時間運用を求める要求と相反する要因となる。

特にＧＰＳデータを取得るためにはＧＰＳ受信機を稼働させる必要から、後述するような消費電流を要するため、対策を講ずる必要があろう。

さらに、ＧＰＳ信号についてはビーコン発信機がＧＰＳ衛星からの電波が受信できることが条件となる。今回の検証ではほとんどの場合この条件を満たしたが、衛星が山陰になったり、人体などが遮る可能性があり、同じく対策を講ずる必要があろう。

よって、当面は有効性と他の要求との相反する要因とのトレードオフからＩＤ信号を重畳することを推奨し、今後、ビーコン発信機に最適な無線モジュール、ＧＰＳ受信機、ＩＤ信号ユニット、ワンチップＣＰＵの低消費電流化と小型化に向けた開発努力に期待することとする。

このほか、試作ビーコンにＧＰＳデータ、及び、ＩＤ信号を重畳したものの、方探可能距離に比べ当該信号の復号可能距離が総じて短くなっていることから、今後、送出する信号のビットレート（当該試作ビーコンでは 2400bps）、信号フォーマット（当該試作ビーコンでは、送信３秒中ヘッドに１回のみの 0.1 秒以下）等を検討し、更には、復号（受信機）を低受信電界でも可能とする機能をさらに検証することで、復号可能距離を限りなく方探可能距離に近づける、もしくは、方探可能距離より復号可能距離を拡大させる対策が必要と思われる。

具体的には、変調方式の最適化やＧＰＳ電波の受信アンテナ取り付け位置などの課題を検討する必要があろう。

（3）連続運用時間について

携帯型電子機器の電源として活用される電池には、その供給できる能力すなわち電源容量がある。

一般には設計容量が公称値とされるが、この容量は実質的には温度に依存するところがあり、特に低い温度では取り出せる電気量が顕著に小さくなる現象があり、一次電池であれ二次電池であれこの傾向を持ち合わせている。

雪山での悪環境での山岳遭難者探索用ビーコン発信機の連続運用について考える場合、極めて重要なこととなってくる。

検討会での検討においても、デジタルビデオカメラのリチュウム電池などは、氷点下では、１０分の１以下の動作時間になるとの経験談も出たところである。将来的には燃料電池、オキシライド電池などの高効率バッテリーが供給される環境が整うことと期待されるが、現実論として留意しなければならない点について改善方策を含め記述する。

発信機の駆動源である電池の容量については、設計容量をもって検討することの危険について本検討会の中で指摘されたことから、次のような条件を設定して試算をした。

・発信機（特に電池部）が登山者の体温から熱源を得ることが出来れば、温度低下による実質容量の極端な減少は避けられるものと考えられること。
・連続運用は入山している期間（７日程度）のみを想定したのでは、下山直前の事態発生を重ね想定すると、捜索・救助の期間の稼働が保証されないこと。
・滑落等の事態で登山者から熱源を得られない状態となったときに、外気温にさらされ容量の低下となると考えられること。
・前述した事態に陥ってからの救助までの日数は、ケースバイケースであるが平均的には４日程度と想定されること。

さらに、放電中の電池にとって設計容量が発揮できる温度から、実質的に指標値を示すことは検証試験からは困難ではあるが、容量の減量度合いを最悪１／３と仮定し、かつ、捜索・救助が必要な期間に体温からの熱源が得られず容量減少の事態が発生すると想定して、下山直前の事態発生を想定すると、およそ１９日（４５６時間：７日×２４時＋４日×２４時×３（減衰度合いの逆数））の稼働時間を保証出来る設計容量が必要となる。

①基本発信

既に「５－２検証試験の評価と実用化の方策（３）連続運用時間について」述べたところであるが、送信電力の最適化の検討は残るとしても、消費電流がおよそ４０ｍＡｈの１０mWのユニットで、１９日の連続送信を可能とすると送信パターンの工夫を施しても、４．６Ａｈの容量の電池が必要であり、後に述べる携帯性にも深く関わるが、実現性は高くない。

１mWのユニットならば、先の送信パターンで発射すると、単純な試算で導けば１．２Ａｈの電池容量で良いことになる。

②付加情報の重畳発信

・ＩＤ信号の重畳

前述したように実用化に当たっては当面ＩＤ信号を重畳することを推奨することとしたが、この重畳により消費電流が増加する度合いは後述するＧＰＳ信号の重畳に比べ遙かに少ないと思慮されることから、実現性の高いものと考える。

・ＧＰＳ信号の重畳

市場調査の結果から、ＧＰＳの信号処理用として市場に出回っている汎用ＬＳＩの消費電流は１００ｍＡｈほどであり、携帯電話に搭載されている専用に開発されたＬＳＩで３０ｍＡｈ位と言われている。

携帯電話に搭載されているものは位置精度があまり良くないと評価されるもので、これの採用は推奨できない。よって、今後の技術革新で近い将来にさらなる低消費電流が図られることを期待する。

仮にＧＰＳの信号処理に要する消費電流を次世代のデバイスの期待値として３０ｍＡとし、１９日連続で受信し続けると、１３．７Ａｈの容量が必要となることから、連続して稼働させる方法では実現が不可能と思われる。

したがって、受信動作も間欠にする必要が有るものと思慮されるが、現在のＧＰＳシステムを利用することを前提とし、携帯可能で消費電力を押さえたＣＰＵでの演算処理を考慮すると、複数のＧＰＳ衛星からの電波を受信し演算処理の後、位置情報として出力するまでには３分ほどかかる。

このため、発信機の送信パターンと一致して稼働・休止の繰り返しによる消費電力の削減の手法の採用は適切でない。

１つの手法として考えられるシーケンスは、一度位置情報が得られたらそれを記憶装置にタイムスタンプとともに記憶しておき、次の位置情報を得る時刻までは受信動作を休止させ、その間は直前の位置情報を繰り返し送信することで妥協する、又は、時間あたりの移動距離の推測に供するため、一度稼働させたら１０分ほど連続稼働させて連続した位置情報をリアルタイムで送出した後休止させて、同じように最後の位置情報を繰り返し送信する等のさらなるアルゴリズムの検討が必要である。

さらに、この場合、位置情報を更新する時間（インターバル）をどれくらいにするか、次の位置情報の収集時刻に衛星からの電波入感しなかった場合の処理をどうするか等の検討も併せて行う必要がある。

今後、間欠発信時間の最適化、セルコール方式、または、動きセンサーを利用したメモリ送信など、できる限りの省電力化を図る必要がある。

（4）携帯可能性の確保について

既に「５－１検証試験の評価と実用化の方策（４）携帯可能性の確保について」で述べたところであるが、ビーコン発信機の構成品となる送信モジュールやＧＰＳユニットの容積は、何ら課題とすべきことは無いと思われる。

偏に電池の容積を決定する容量と重量が課題であり、既に述べたところの省消費化の対策の方向と、開発が進む次世代の電池の供給に依るところが多いと思われる。

検討会では１次電池の採用や携帯型発電機の携行などの提案がされたが、電力供給体制の改善は検討に値するものの、登山者にとっては新たな負担であることから、簡便な利用とは相反するものであり、慎重な選択が必要と思われる。

５－３ まとめ

本調査検討会では、多面的な検討及びその成果から提案された試験機を用いてモデルシステム構築に向けた検証試験を行い、試験結果の分析・検討をもって今回の報告に至っているが、前項に述べた実用化に向けた課題のほか、次に掲げる事にも注意を払うべきである。

また、ビーコンシステムの実用化に当たっては、機器として使用環境の条件に適用するための実装技術の検討が必要であり、登山者が不幸にして遭難等の自体に遭遇した場合においての電波の発射にかかる条件（アンテナの形状、人体と送信アンテナの物理的関係、雪崩時の埋設深さ等）を出来るだけ実運用環境の元で検討していく必要があるものと思われる。

（１） 運用体制の確立

本調査検討会では、探索・救助用システムとしてビーコンシステムが実用化されているいくつかのシステムと比較検討した結果において、有効性の高いシステムであるとの結果を得たところである。

よって、早い時期に実用化されることを強く望むものであるが、その期待する効果を得るためには、システムとして全体の機能が有効に働く体制づくりが不可欠であり、これまで富山県警が関係者の協力で培ってきた運用体制を１つの先例として、各地で自治体が構成する救助組織等がこのシステムに適した運用体制を構築していく必要がある。

すなわち、捜索・救助活動の遂行が困難な冬山登山に際しては、ビーコン発信機の携行を促すため登山口等において無料で貸し出し、遭難等の事態発生時にはヘリコプター等の機動性の高い機材の投入も考慮に入れて、直ちに発信機から発射される電波を頼りに探索活動が開始できる体制を確立する必要がある。

このほか、本検討会ではビーコンシステムの高度化の一方策として複数の入山者があっても、捜索対象者が特定出来るようビーコン電波にＩＤ信号を重畳することを推奨したところであるが、そのＩＤ番号の管理などを含めて運用・管理体制が必要不可欠である。

（２） 特定小電力制度への適合

本検討会で検証試験した結果空中線電力は１０mW以下の小電力でもって実用化を図ることが可能であることから、『免許を要しない無線局（特定小電力無線設備）』として取り扱うことが考えられる。

これによって無線従事者の資格を有しない一般登山者も容易に利用が可能となり、より広く安全と安心の共有が図られることとなる。

一方、いくつか述べた技術的検討課題を整理・検討した上で、特定用途に認められる周波数のみを用いた微弱無線局（※１）として位置づけ、特定用途のシステムとして拡充する等の施策に期待する方策もあるものと考える。

※ １　当該無線局の無線設備から５００ｍの距離での電界強度（電波の強さ）が、規定されたレベルより低いもので総務大臣が用途、周波数などを定めたもの。

（３） 他分野での応用について

本調査検討会ではビーコン電波を発射し、これにデジタル技術を用いてシステムの高度化を図る方策を大きな柱として検討を進め、検証試験の評価も含め実用化の方策と課題等も抽出して本報告を行うことが出来た。

このようなシステムの稼働は単に本検討会の目的とした山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化のみならず、野生動物の生態観測や徘徊老人の探索等の位置情報の収集や分析を行うシステムにも応用が可能である。

探索性能の向上などの改善を望む背景は、本検討会で検討してきたことと一致するものであり、より迅速に効率的に被捜索者（物）を捜索するための位置情報や識別のための情報の重畳など高度化の方向性も全く共通している。

よって、本調査検討の成果が山岳遭難者の捜索・援助にむけた取組みの中での活用にとどまらず、類似システムにおける高度化等の取組みにも活用されることを強く望むとともに、そこでの取組みにおいて進展が得られたものは山岳遭難者の捜索・救助にむけた取組みへフィードバックされて、相互により有効な活用が図られることを望むものである。

特に実装技術を含めた実用機設計技術の共有、拡張性検討における相互の認識の共有、実績をふまえた運用方法の確立・拡充のための情報の共有等々が強く望まれる。

（一部修正作業中）